



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง

Biomass Fuel Production Made from Empty Palm Bunch Combined  
with Residual Bleaching Earth

นายณฤบดี ศรีสังข์

นางศิริวรรณ ศรีสังข์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง  
Biomass Fuel Production Made from Empty Palm Bunch Combined  
with Residual Bleaching Earth



นายณฤบดี ศรีสังข์  
นางศิริวรรณ ศรีสังข์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 146354  
วันเดือนปี 19 พ.ค. 2560



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง  
ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Biomass Fuel Production Made from Empty Palm Bunch  
แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 495,500 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559

หัวหน้าโครงการ นายณฤบดี ศรีสังข์ หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นางศิริวรรณ ศรีสังข์ หน่วยงานต้นสังกัด สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จ.ชุมพร

## บทคัดย่อ

ดินฟอกสีและทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุเหลือใช้ในระบบการผลิตน้ำมันปาล์ม ภายในดินฟอกสีประกอบไปด้วยน้ำมันปริมาณมากขณะที่ทะลายปาล์มเปล่าเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนสูง วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้สามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่กลายเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันของขนาดทะลายปาล์มเปล่าหลังการบดย่อย (1 และ 5 cm) อุณหภูมิการอัด (150 250 และ 350°C) อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักระหว่างดินฟอกสีและทะลายปาล์มเปล่า (30:70 40:60 50:50 60:40 และ 70:30) และความเร็วการอัด (30 40 และ 50 rpm) เชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดแท่งถูกตรวจสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงในด้านความชื้น เถ้า ค่าความร้อน คาร์บอนคงตัว และสารระเหย นอกจากนี้ยังศึกษาถึงอัตราการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล ผลการทดลองแสดงถึงทะลายปาล์มเปล่าขนาด 5 cm ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เชื้อเพลิงชีวมวลที่ทำจากทะลายปาล์มเปล่าขนาด 1 cm และดินฟอกสีมีปริมาณของความชื้น ค่าความร้อน คาร์บอนคงตัว และสารระเหยลดลงตามการลดลงของปริมาณทะลายปาล์มเปล่า ปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินฟอกสี อัตราการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้นกับความเร็วรอบการอัดโดยมีอัตราการผลิตสูงสุด 390 ก้อนต่อชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 50 rpm ความเร็วและอุณหภูมิการอัดส่งผลต่อค่าความร้อนในบางเงื่อนไขในการศึกษา อย่างไรก็ตามปริมาณของความชื้น คาร์บอนคงตัว สารระเหย และเถ้า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างชัดเจนกับความเร็วและอุณหภูมิในการอัด ภายใต้เงื่อนไขในการศึกษานี้ ดินฟอกสีและทะลายปาล์มเปล่าสามารถใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีค่าความร้อนและปริมาณความชื้นอยู่ในระดับมาตรฐาน มีปริมาณสารระเหยในระดับปานกลางถึงระดับต่ำ ถึงอย่างนั้นก็ตามปริมาณคาร์บอนคงตัวและเถ้าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ : ดินฟอกสี, ทะลายปาล์มเปล่า, คุณสมบัติเชื้อเพลิง, เชื้อเพลิงชีวมวล

**Research Title:** Biomass Fuel Production Made from Empty Palm Bunch

**Researcher:** Naruebodee Srisang and Siriwan Srisang

**Faculty:** The King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus

**Department:** Energy Engineering

## ABSTRACT

Bleaching earth (BE) and empty palm bunch (EPB) are residual materials in palm oil production process. Inside BE consisted of much oil quantities meanwhile the EPB is a biomass that has the high heating value. These residual materials could be recycled to become the biomass briquette (BB). Therefore, this research investigated the BB production under the different condition of the EPB size after crushing (1 and 5 cm), the compression temperature (150, 250 and 350°C), the mixture ratio by weight between BE and EPB (30:70, 40:60, 50:50, 60:40 and 70:30) and the compression velocity (30, 40 and 50 rpm). The BB after production was inspected the fuel properties, i.e., moisture, ash, the heating value (HV), fixed carbon and volatile matter. Moreover, the BB production rates were also studied. Experimental results showed that the size of EPB about 5 cm could not compress into the BB. The BB made from the EPB size of 1 cm and the BE that had the quantity of moisture, HV, fixed carbon and volatile matter diminished with the decrease of EPB quantity. The ash content increased with the augmentation of BE content. The BB production rate increased with the compressive revolution velocity by it had the maximum production rate about 390 pieces per hour at the revolution velocity of 50 rpm. The compressive velocity and temperature affected for some condition in study. However, the content of moisture, fixed carbon, volatile matter and ash did not obviously change and did not associate with the compressive velocity and temperature. Under condition in this study, the BE and EPB could be used to produce the BB which had the HV and moisture content in standard level. There was volatile matter in the intermediate and low level. Nonetheless, the quantity of ash and fixed carbon did not pass the standard criterion.

**Keywords:** Bleaching earth, Empty palm bunch, Fuel property, Biomass briquette

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา คณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิศวกรรมพลังงาน ตลอดจนคณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย ฝ่ายพัสดุและฝ่ายการเงิน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ประสานงานและดำเนินการให้งานวิจัยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

นฤปดี ศรีสังข์  
ศิริวรรณ ศรีสังข์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

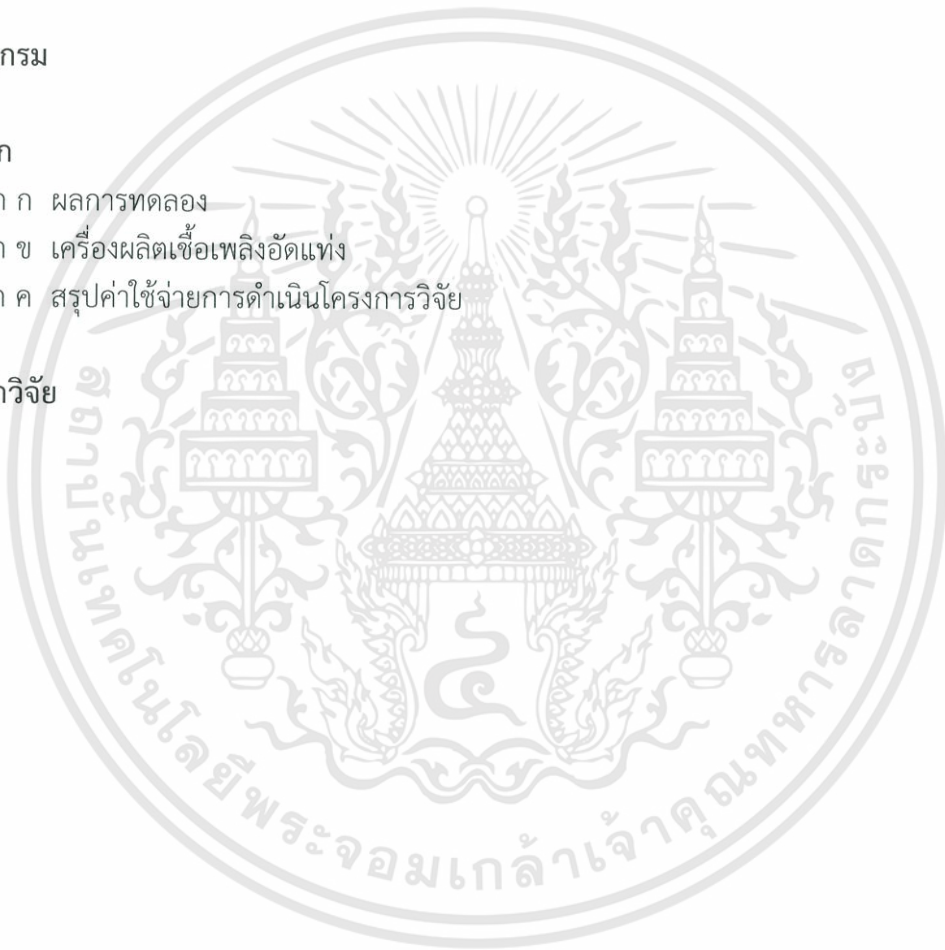
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ชีวมวลและเศษวัสดุเหลือทิ้ง	4
2.2 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน	5
2.3 วิธีการอัดแท่ง	11
2.4 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	12
2.5 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	14
2.6 การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง	14
2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	<b>26</b>
3.1 การสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทะเลสาบปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลือทิ้ง	26
3.2 การเตรียมส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง	28
3.3 การทดสอบอัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง	28
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	30
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b>	<b>32</b>
4.1 ผลกระทบของขนาดทะเลสาบปาล์มต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	32
4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนผสม อุณหภูมิ และความเร็วยรอบในการอัดต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลกระทบของความเร็วยรอบในการอัดต่ออัตราการอัดแห้งเชื้อเพลิง	60
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>62</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
5.3 ผลผลิตงานวิจัย	62
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>63</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>66</b>
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	67
ภาคผนวก ข เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแห้ง	77
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย	78
<b>ประวัตินักวิจัย</b>	<b>79</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	7
2.2 ภาพรวมของวิธีการเคมีความร้อนที่ใช้แปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง	8
2.3 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	13
2.4 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	14
3.1 อัตราส่วนผสมของ ทะลายปาล์ม : ดินฟอกสี ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล	27
4.1 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70	36
4.2 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60	37
4.3 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	37
4.4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 60:40	37
4.5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 70:30	38
4.6 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70	42
4.7 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60	42
4.8 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	43
4.9 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 60:40	43
4.10 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	44
4.11 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70	47
4.12 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60	48
4.13 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	48
4.14 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 60:40	49
4.15 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 70:30	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์ม เปล่า 30:70	53
4.17 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์ม เปล่า 40:60	53
4.18 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์ม เปล่า 50:50	54
4.19 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์ม เปล่า 60:40	54
4.20 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์ม เปล่า 70:30	55
4.21 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70	58
4.22 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60	59
4.23 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	59
4.24 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 60:40	60
4.25 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 70:30	60
4.26 อัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง	60
ก1 ค่าความร้อนในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า	67
ก2 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า	69
ก3 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า	71
ก4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า	73
ก5 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ทะลายปาล์มเปล่า	5
2.2 ดินฟอกสี	5
2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิง	6
2.4 วิธีการผลิตเอทานอลจากชีวมวล	8
2.5 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	9
2.6 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	9
2.7 กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอร์ฟิเคชัน	10
2.8 การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล	10
2.9 แท่งเชื้อเพลิงเขียวชนิดอัดแท่ง	11
2.10 แท่งเชื้อเพลิงเขียวชนิดอัดเม็ด	11
2.11 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	13
2.12 ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง	15
2.13 การขับสายพาน	16
2.14 เพลากายใต้แรงกระทำต่างๆ	17
2.15 ฮีตเตอร์รัศต่อ	19
2.16 สกรูส่งกำลัง	21
2.17 แรงปฏิกิริยาบนเกลียว	21
3.1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทะลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลือทิ้ง	26
3.2 ไบควนและถังควน	27
3.3 สกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง	28
3.4 การป้อนส่วนผสมเข้าสู่ส่วนควนผสม	29
3.5 การวัดและควบคุมความเร็วรอบในการอัด	29
3.6 แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดขึ้นรูป	29
4.1 ส่วนผสมที่อัดตัวแน่นเกินไปในกระบอกอัด	32
4.2 เศษส่วนผสมที่นำออกมาจากกระบอกอัด	32
4.3 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70	33
4.4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60	34
4.5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50	34
4.6 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 60:40	35
4.7 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 70:30	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 30:70	39
4.9 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 40:60	39
4.10 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 50:50	40
4.11 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 60:40	40
4.12 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 70:30	41
4.13 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 30:70	44
4.14 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 40:60	45
4.15 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 50:50	45
4.16 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 60:40	46
4.17 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 70:30	46
4.18 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 30:70	50
4.19 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 40:60	50
4.20 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 50:50	51
4.21 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 60:40	51
4.22 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 70:30	52
4.23 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 30:70	55
4.24 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 40:60	56
4.25 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 50:50	56
4.26 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 60:40	57
4.27 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 70:30	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.28 แท่งเชื้อเพลิง	61
ข1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะที่ความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่นำมาใช้ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ และเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับการผลิตทั้งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องมีการจัดหาพลังงาน ให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดี ให้สอดคล้องกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของผู้ใช้ แต่ในปัจจุบันที่ราคาพลังงานในรูปแบบต่างๆสูงขึ้น เนื่องจากวิกฤติการณ์ราคาน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมแบกรับภาระค่าเชื้อเพลิงดังกล่าว แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการหาแหล่งพลังงานหรือแหล่งเชื้อเพลิงอื่นมาใช้ทดแทน ประเทศไทยในฐานะของประเทศเกษตรกรรมจึงทำให้มีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมจำนวนมาก อันได้แก่ ฟางข้าว 0.49 ton/product ชานอ้อย 0.28 ton/product ทะลายปาล์มเปล่า 0.32 ton/product และกะลามะพร้าว 0.25 ton/product เป็นต้น [1] ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวเป็นชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงได้และมีศักยภาพในการใช้งานที่ดี นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงพลังงาน [2,3] ที่ส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย และสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (Alternative Energy Development Plan : AEDP) ที่ส่งเสริมการใช้ชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าและการผลิตพลังงานความร้อน ลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันและสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนรวมไปถึงลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ที่เจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งจังหวัดชุมพรเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมีโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นจำนวนมาก โดย ปาล์มน้ำมันในรูปของผลปาล์มสดจะมีประมาณ 9.27 million ton/year จากข้อมูลของกระทรวงพลังงานพบว่า เปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม และทะลายปาล์ม เป็นชีวมวลที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อนำปาล์ม 1 ตัน ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ แล้ว จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 20-25 kWh และใช้น้ำอีก 0.73 ตัน เพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มประมาณ 140-200 กิโลกรัม และจะมีวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิต ได้แก่ เปลือกปาล์ม กะลาปาล์ม (คิดเป็น 4% ของผลผลิตทั้งหมด) และเส้นใย (คิดเป็น 19% ของผลผลิตทั้งหมด) รวมแล้วประมาณ 190 กิโลกรัม และได้เป็นทะลายปาล์มเปล่า 230 กิโลกรัม (คิดเป็น 32% ของผลผลิตทั้งหมด) หรือเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าได้ 120 kWh มีน้ำเสียจากโรงงานคิดเทียบเท่าก๊าซชีวภาพได้ 20 ลูกบาศก์เมตร และยังมีดินฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากการกรองสีแดงของน้ำมันปาล์มทำให้มีปริมาณน้ำมันจำนวนมากตกค้างอยู่ในดินฟอสฟอรัส จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น มีเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากการหีบน้ำมันปาล์มเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการและยังอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมถ้ามีการจัดการอย่างไม่เหมาะสม ดังนั้นการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงจะช่วยลดต้นทุนด้านพลังงาน เช่น เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำมันปาล์ม อันได้แก่ ทะลายปาล์มเปล่า และกะลาปาล์ม สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานโดยให้ค่าพลังงานเทียบเท่า 194.94 ktoe [4] นอกจากนี้การแปรรูปเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวยังช่วยในเรื่องของการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการนำทะเลาะปาล์มเปล่าและดินฟอกสีมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานหมุนเวียนในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจะศึกษาผลกระทบของขนาดทะเลาะปาล์มเปล่า อุณหภูมิในการอัด ความเร็วรอบในการอัด และอัตราส่วนผสมที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง อันได้แก่ ค่าความร้อน (Heating Value) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และเถ้า (Ash) เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทะเลาะปาล์มเปล่าและดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดทะเลาะปาล์มเปล่า อุณหภูมิในการอัด ความเร็วรอบในการอัด และอัตราส่วนผสมของทะเลาะปาล์ม : ดินฟอกสี ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง และศึกษาผลกระทบของความเร็วยรอบในการอัดที่ส่งผลต่ออัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้ทะเลาะปาล์มเปล่าและดินฟอกสีที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม
- 1.3.2 ทะเลาะปาล์มเปล่ามีความชื้นประมาณ 25% (d.b.) ถูกลำผ่านกระบวนการบดย่อยเพื่อให้มีขนาดหลังการบดย่อยประมาณ 1 และ 5 cm
- 1.3.3 ดินฟอกสี มีความชื้นประมาณ 4% (d.b.)
- 1.3.4 ในขั้นตอนการกวนผสมใช้ความเร็วรอบ 25 rpm
- 1.3.5 อัตราส่วนผสมของ ทะเลาะปาล์ม : ดินฟอกสี ที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงมี 5 อัตราส่วน
- 1.3.6 แท่งเชื้อเพลิงมีลักษณะทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ยาว 10 cm
- 1.3.7 ในกระบวนการอัดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบร้อน ใช้ Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิในการอัด โดยใช้อุณหภูมิที่ 150 250 และ 350°C
- 1.3.8 ในกระบวนการอัดใช้ความเร็วรอบในการอัดที่ 30 40 และ 50 rpm
- 1.3.9 ในการลดความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลหลังการอัดแท่งใช้การอบแห้งในตู้อบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 12% (d.b.)
- 1.3.10 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลจะพิจารณาในเรื่องของค่าความร้อน (Heating Value) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และเถ้า (Ash)

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ชุดกวนผสม และชุดอัดแท่งเชื้อเพลิง
- 1.4.3 ดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดทะเลาะปาล์มเปล่า อุณหภูมิในการอัด ความเร็วรอบในการอัด และอัตราส่วนผสมของ ทะเลาะปาล์ม : ดินฟอกสี ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงผลกระทบของขนาดทะเลายปาล์มเปล่า อุณหภูมิในการอัด ความเร็วรอบในการอัด และอัตราส่วนผสมของ ทะลายปาล์ม : ดินฟอกสี ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง
- 1.5.2 เป็นแนวทางหนึ่งในการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์
- 1.5.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะเลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีต่อไปในอนาคต
- 1.5.4 ได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่มีศักยภาพในการนำไปใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

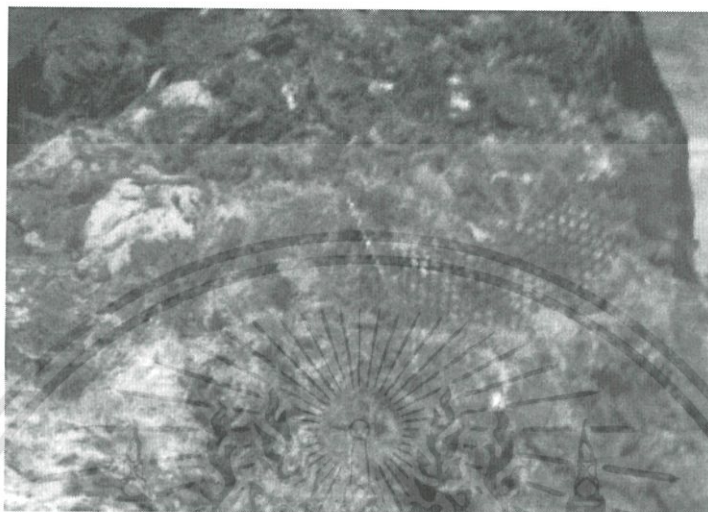
### 2.1 ชีวมวลและเศษวัสดุเหลือทิ้ง

ชีวมวล คือ วัตถุหรือสสารที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติ และรวมไปถึงสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างทดแทนได้ พลังงานจากชีวมวลจัดว่าเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืช โดยพืชจะนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตก๊าซออกซิเจน ดังนั้นเมื่อนำชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผา จึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศ [5] ซึ่งชีวมวลที่มีอยู่มากมายสามารถจำแนกแหล่งที่มาได้ดังนี้ [6]

- พืชเกษตรกรรม (Agricultural crop) เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ฯลฯ ซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของคาร์โบไฮเดรต แป้งและน้ำตาลสามารถปลูกเป็นพืชที่ให้พลังงานและผลิตเป็นน้ำมันพืช ได้นอกจากนี้ยังมีพืชที่ปลูกเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ เช่น ปาล์มน้ำมัน และสบู่ดำ
- วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) เช่น แกลบ ลำต้นมันสำปะหลัง ซึ่งข้าวโพด กากถั่วเหลือง
- ไม้และเศษเหลือทิ้งของไม้ (Wood and wood residues) เช่น ไม้โตเร็ว ไม้ยืนต้น เศษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตไม้ รวมทั้งเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ฯลฯ
- เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปในอุตสาหกรรม เช่น แกลบจากโรงสีข้าว ขานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล และทะลายปาล์มจากการสกัดปาล์มน้ำมัน
- ขยะมูลฝอยและมูลสัตว์ เช่น ขยะที่เป็นของสด และมูลสัตว์ต่างๆ
- สิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น สาหร่าย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ไบโอดีเซลจากสาหร่าย และการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจน [7]

สำหรับประเทศไทยชีวมวลส่วนใหญ่ได้มาจากภาคการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวทำให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ได้แก่ แกลบ (ได้จากกระบวนการกะเทาะข้าว) ลำต้นมันสำปะหลัง (ได้จากกระบวนการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง) ไม้ยางพารา (ได้จากกระบวนการกำจัดต้นยางที่ไม่สามารถให้น้ำได้ดี) ทะลายปาล์ม (ได้จากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม) และ ดินฟอกสี (ได้จากกระบวนการฟอกสีน้ำมันปาล์ม) เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ เนื่องจากชีวมวลเหล่านี้มีปริมาณมากและมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีและให้ค่าพลังงานความร้อนในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น แกลบให้ค่าความร้อน 14,204 kJ/kg ไม้ยางพาราให้ค่าความร้อน 8,600 kJ/kg และทะลายปาล์มให้ค่าความร้อน 7,204 kJ/kg [4] เป็นต้น ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่เพาะปลูกมากในภาคใต้ของประเทศไทยในแถบจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูล และตรัง ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการน้ำมันปาล์มในประเทศเพิ่มมากขึ้นตามแนวโน้มของราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันและเพิ่มกำลังการผลิตน้ำมันปาล์มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีชีวมวลจากปาล์มเป็นปริมาณมากที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานได้ เช่น ทะลายปาล์มเปล่า กะลาปาล์ม และเส้นใยปาล์ม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีดินฟอกสีเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต โดยดินฟอกสีเป็นตัวดูดซับอย่างดี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักใช้ในการกรองของเสียหรือสิ่งเจือปนออกจากน้ำมัน ซึ่งเกือบ 40% ของน้ำหนักดินฟอกสีหลังการใช้งาน เป็นน้ำมันที่ถูกดูดซับไว้ ดังนั้นน้ำมันที่ถูกดูดซับในดินฟอกสีสามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำทะเลสาบปาล์มเปล่า (ดังแสดงในภาพที่ 2.1) และดินฟอกสี (ดังแสดงในภาพที่ 2.2) มา แปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง



ภาพที่ 2.1 ทะเลสาบปาล์มเปล่า



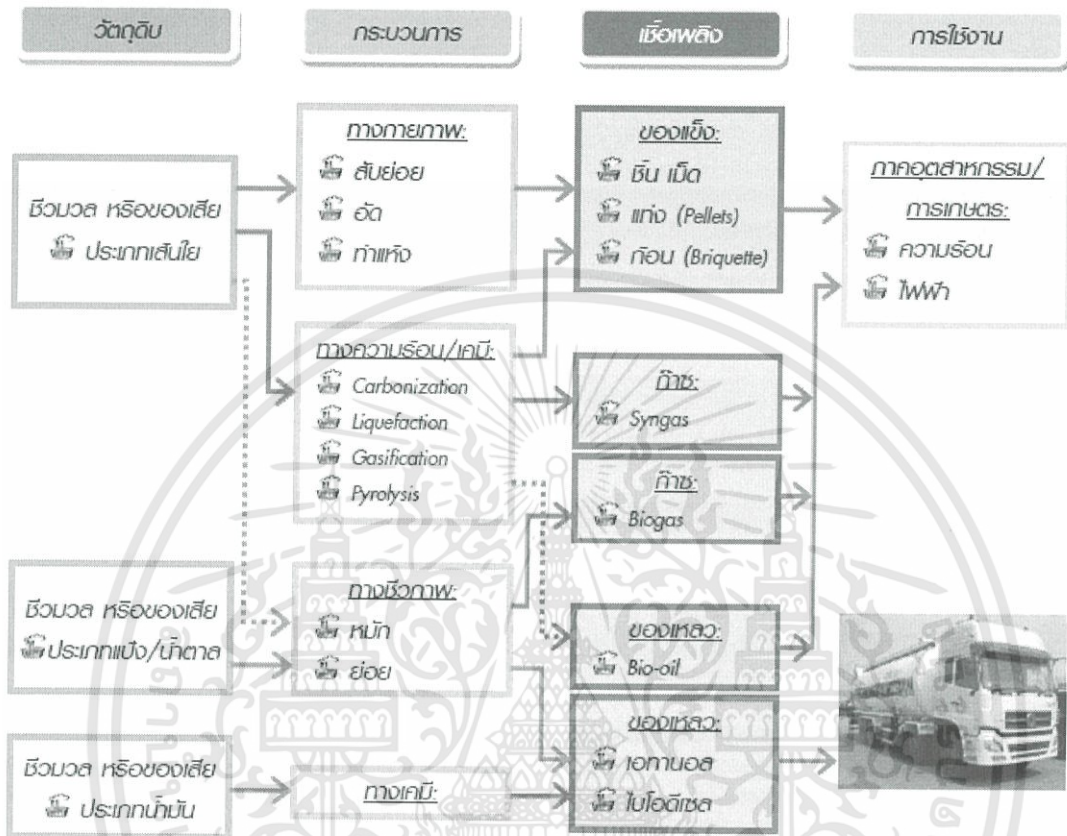
ภาพที่ 2.2 ดินฟอกสี

## 2.2 เทคโนโลยีในการแปรรูปชีวมวลเป็นพลังงาน

ประเทศไทยมีชีวมวลที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทั้งจากภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำชีวมวลเหล่านี้มาแปรรูปให้เป็นพลังงาน ซึ่งนอกจากจะได้พลังงานทดแทน แล้วยังช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัดให้เหลือน้อยลงด้วย การแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง หมายถึง การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผ่านกระบวนการจัดการต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นเชื้อเพลิง โดยกระบวนการที่นำมาใช้แปรรูปเชื้อเพลิงในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี และสามารถผลิตเชื้อเพลิงออกมาได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการขนส่ง ดังในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิง [8]

ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งที่จะนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงควรมีสารที่เผาไหม้ได้เป็นองค์ประกอบ โดยสารดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็วในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ (ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับสารที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิง) ซึ่งสารที่เผาไหม้ได้เหล่านั้น ได้แก่ เส้นใย แป้ง น้ำตาล และน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิง	หน่วย	ปริมาณความร้อน (กิโลแคลอรี/หน่วย)
ก๊าซชีวภาพ	ลบ.ม.	5,000
ไม้ยางพารา	กก.	4,560
ถ่านไม้ยางพารา	กก.	7,650
กะลามะพร้าว	กก.	4,830
ถ่านกะลามะพร้าว	กก.	7,760
ถ่านกะลาปาล์ม	กก.	7,460
เส้นใยปาล์ม	กก.	4,820
ขี้ข้าวโพด	กก.	4,540
ขี้เลื่อย	กก.	4,990
ผักตบชวา	กก.	3,010
กากตะกอนจาก ระบบบำบัดน้ำเสีย	กก.	2,390 – 4,060

ในการแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ [5,8]

### 2.2.1 วิธีเคมีความร้อน (Thermochemical process)

วิธีการเคมีความร้อนเป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงหรือผลิตเป็นพลังงานโดยการใช้ความร้อนจนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งวิธีที่ดำเนินการในปัจจุบัน ได้แก่

- การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (Combustion) เป็นวิธีการนำชีวมวลมาเผาโดยตรง เชื้อเพลิงที่ได้จะเป็นก๊าซร้อนที่มีความร้อนตามค่าความร้อนของชีวมวลที่นำมาเผา

- การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรลิซิส (Pyrolysis) เป็นวิธีการให้ความร้อนกับชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 500–600°C ในสภาพไร้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดการสลายตัวของชีวมวลกลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวและก๊าซผสมกัน เรียกว่า Bio-oil

- การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เป็นวิธีการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงด้วยปฏิกิริยาเคมีโดยมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการอบแห้ง ขั้นตอนการไพโรไลซิส ขั้นตอนการเผาไหม้ และขั้นตอนการรีดักชัน ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้ประกอบด้วยก๊าซที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible gases) ได้แก่ มีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) ส่วนก๊าซที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (Non-combustible gases) ได้แก่ ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

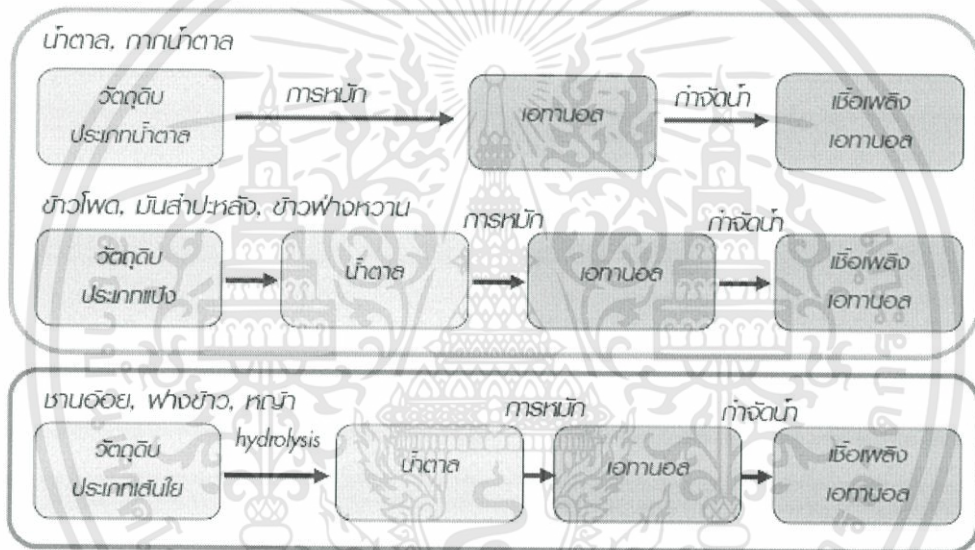
ภาพรวมของวิธีการเคมีความร้อนที่ใช้แปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ดังสรุปในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ภาพรวมของวิธีการเคมีความร้อนที่ใช้แปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง [8]

กระบวนการ	ปฏิกิริยาเคมี/ความร้อน	ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิง
การเผาไหม้ (Combustion)	Complete oxidation	Hot flue gas
การเผาไหม้ในสภาพไร้ออกซิเจน (Pyrolysis)	No oxygen	Bio-oil
การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification)	Partial oxidation	$H_2 + CO + CH_4$

### 2.2.2 วิธีชีวเคมี (Biochemical process)

วิธีชีวเคมีเป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมี ซึ่งต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น แบคทีเรียและรา โดยนำชีวมวลจำพวกสารอินทรีย์ที่มีแป้ง น้ำตาล และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบไปหมักในสภาพไร้อากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายองค์ประกอบในชีวมวลให้เปลี่ยนเป็นเอทานอลและก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) โดยเอทานอลสามารถผลิตได้จากชีวมวลหลายชนิดดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วิธีการผลิตเอทานอลจากชีวมวล [8]

### 2.2.3 วิธีปฏิกิริยาเคมี (Chemical process)

วิธีปฏิกิริยาเคมีเป็นการแปรรูปชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยการใช้ปฏิกิริยาเคมี เช่น การผลิตไบโอดีเซล โดยในการผลิตจะทำการสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อให้ได้เป็นไบโอดีเซล สำหรับวิธีการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงและมีความซับซ้อนน้อยกว่า เพื่อลดความหนืดและความถ่วงจำเพาะ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

- กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Tranesterification) หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยนโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็นเอสเทอร์ตัวใหม่หรือโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็ก ในสภาวะที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา อันได้แก่ กรดและเบส แต่ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันด้วยเบสจำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระใน

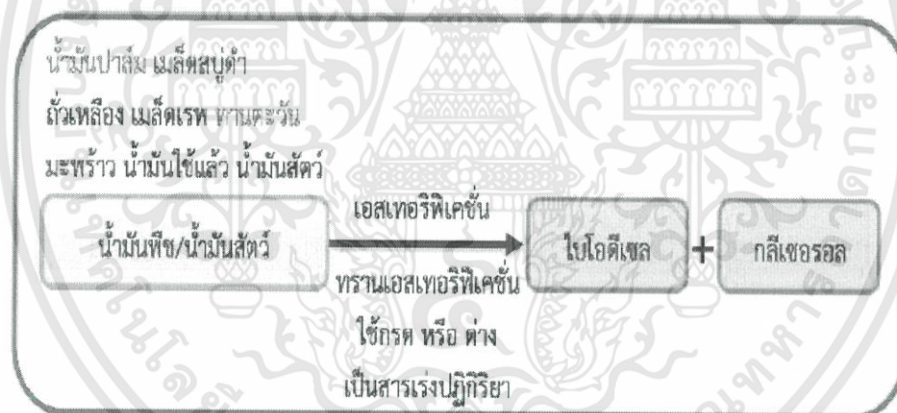
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุดิบน้ำมันให้ต่ำกว่าร้อยละ 2 ส่งผลให้วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ผลิตจำกัดเฉพาะพืชน้ำมันบางชนิดเท่านั้น

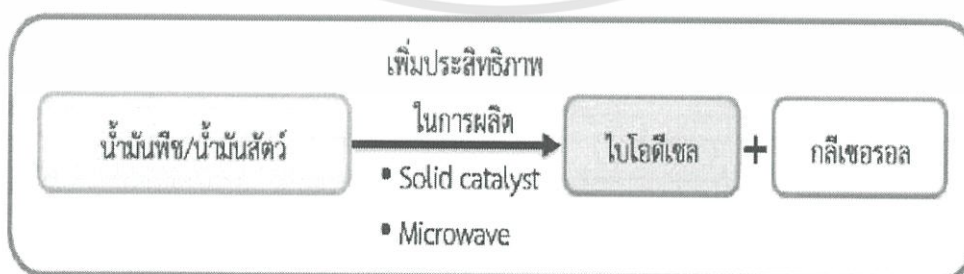
- กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification tranesterification) ใช้กับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-30 เนื่องจากกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยแอลกอฮอล์จะกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากวัตถุดิบก่อน โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และน้ำ จากนั้นจึงแยกน้ำออกและทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบส แล้วนำเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงให้กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น โดยใช้โลหะออกไซด์ (Metal oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนเบส ร่วมกับการนำคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเรียกว่าเทคโนโลยีไมโครเวฟ (Microwave Technology)

- กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอร์ฟิเคชัน (Hydrolysis and esterification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนน้ำมันพืชตั้งต้นทั้งหมดเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอลผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในภาวะที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นกรดไขมันบริสุทธิ์จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดต่อไป ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์

สำหรับภาพรวมของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน แสดงดังภาพที่ 2.5 2.6 และ 2.7

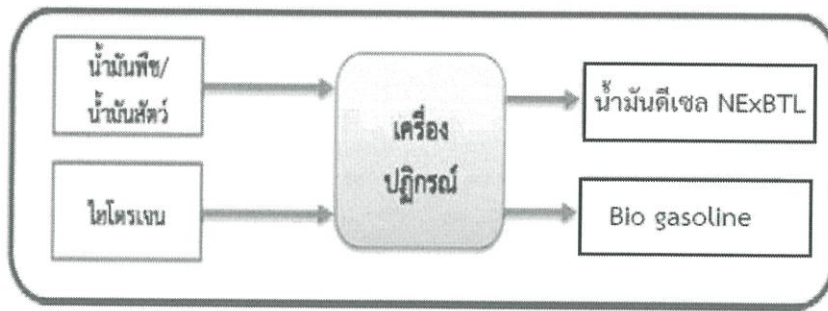


ภาพที่ 2.5 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [8]



ภาพที่ 2.6 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 กระบวนการไฮโดรไลซิสและเอสเทอร์ฟิเคชัน [8]

#### 2.2.4 วิธีทางกายภาพ (Physical process)

วิธีการทางกายภาพเป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเหมาะสำหรับชีวมวลที่มีคุณสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะสมหากจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงจำเป็นต้องนำมาผ่านวิธีการทางกายภาพก่อน เช่น

- ชีวมวลมีความหนาแน่นต่ำ ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บมาก การนำไปใช้งานมีความยุ่งยาก เนื่องจากต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้ได้ค่าความร้อนที่เพียงพอต่อการใช้งาน
- ชีวมวลมีความชื้นสูงทำให้ค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่ำและทำให้ไม่สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานานได้
- เนื้อวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของชีวมวลไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) ทำให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นไม่คงที่ยากต่อการควบคุมเมื่อนำไปใช้งาน

- ขนาดและรูปร่างของชีวมวลที่อาจทำให้เกิดช่องว่าง ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการเกิดความร้อนลดเมื่อนำไปใช้ในอุปกรณ์ สำหรับในทางทฤษฎีต้องพยายามให้อากาศสัมผัสกับพื้นที่ผิวของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงให้มากที่สุดและมีเวลานานเพียงพอในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

วิธีการทางกายภาพเพื่อแก้ไขและปรับปรุงข้อจำกัดของชีวมวลในลักษณะดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ วิธีการอัดแท่ง (Densification) ซึ่งเป็นวิธีการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง (ดังแสดงในภาพที่ 2.8) และการอัดแท่งชีวมวลยังช่วยลดความชื้นออกจากชีวมวล รวมไปถึงช่วยปรับปรุงด้านขนาดและรูปร่างทำให้ลดช่องว่าง และก่อให้เกิดการรวมเป็นเนื้อเดียวกันขององค์ประกอบต่างๆ ในชีวมวล



ภาพที่ 2.8 การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 วิธีการอัดแท่ง (Densification)

เป็นวิธีการเปลี่ยนวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำให้เป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง และช่วยลดความชื้นในชีวมวล ขณะเดียวกันยังสามารถปรับปรุงขนาดและรูปร่างของชีวมวลให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งาน วิธีการอัดแท่งสามารถแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงได้ในหลายรูปแบบ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือแท่งเล็กๆ (Pelleting) อัดเป็นก้อนรูปลูกบาศก์ (Cubing) และอัดเป็นแท่งพิน (Extruded log) เป็นต้น

#### 2.3.1 ประเภทของแท่งเชื้อเพลิง

แท่งเชื้อเพลิงที่มีการผลิตขึ้นในปัจจุบันมี 2 ประเภท คือ

- ถ่านอัดแท่งเป็นการนำชีวมวลที่เผาจนเป็นถ่านแล้วมาอัดเป็นแท่ง หรืออาจนำแท่งเชื้อเพลิงที่อัดเป็นแท่งแล้วมาเผาให้เป็นแท่งถ่าน
- แท่งเชื้อเพลิงเขียวเป็นการนำชีวมวลมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานโดยตรงไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแท่ง ตัวอย่างของแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.9 และ 2.10



#### 2.3.2 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง

จำแนกตามกระบวนการขึ้นรูปได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

2.3.2.1 กระบวนการอัดร้อน (Hot press process) เป็นการอัดชีวมวลโดยให้ความร้อนตลอดเวลาที่ทำการอัดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ  $350^{\circ}\text{C}$  เหมาะกับชีวมวลที่เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่ช่วยยึดเนื้อวัสดุเข้าหากัน จึงทำให้สามารถยึดเกาะขึ้นรูปเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน ตัวอย่างชีวมวลที่สามารถนำมาทำเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยกระบวนการอัดร้อน คือ ชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (แกลบ ชี้เลื้อย ยอดอ้อย ฟางข้าว เปลือกผลไม้ซังข้าวโพด และ ชานอ้อย ฯลฯ) วัชพืชบกและน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาล (ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวฟ่าง ฯลฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 กระบวนการอัดเย็น (Cold press process) เหมาะกับชีวมวลที่ไม่มีคุณสมบัติในการจับตัวได้ด้วยความร้อน มี 2 วิธี คือ

- การอัดเย็นชนิดเต็มตัวประสาน เป็นการอัดเย็นที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน เครื่องมือที่ใช้ในการอัดหาได้ง่าย และใช้พลังงานต่ำ ตัวประสานที่ใช้ในการอัดเย็นโดยทั่วไปจะเป็นแป้งมันสำปะหลัง หากชีวมวลมีขนาดใหญ่ต้องมีเครื่องบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับแป้งมันและน้ำในอัตราส่วนตามที่ต้องการ

- การอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง เป็นการอัดเย็นที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่จะใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของชีวมวลเกิดการอัดตัวแน่นจนจับตัวเป็นก้อนได้ ซึ่งการอัดเย็นประเภทนี้จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังค่อนข้างสูง และใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แต่จะมีขั้นตอนในการอัดเพียงขั้นตอนเดียวเพราะไม่ต้องผสมตัวประสาน และไม่มีควมจำเป็นที่จะต้องบดชีวมวลก่อนเข้าอัดหากชีวมวลไม่ได้มีขนาดใหญ่จนเกินไป

## 2.4 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

### 2.4.1 ค่าความร้อน (Calorimetric value or heating value)

ค่าความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ หรือเรียกว่า ความร้อนของการเผาไหม้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็นกิโลจูล (kJ) หรือ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมของเชื้อเพลิง (kcal/kg) ค่าความร้อนสูง (High heating value, HHV) เป็นปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งรวมถึงปริมาณความร้อนแฝงที่ถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเกิดการควบแน่น ค่าความร้อนต่ำ (Low heating value, LHV) เป็นค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่รวมค่าความร้อนแฝง ค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำที่ตรวจวัดได้ในเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งจะแตกต่างกันเสมอ โดยค่าความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในเชื้อเพลิง ดังนั้นในกรณีเชื้อเพลิงมีความชื้นมากๆ อาจใช้วิธีการตากแดดหรือผึ่งลมเพื่อลดความชื้นในเชื้อเพลิง แล้วตรวจวัดเฉพาะค่าความร้อนสูงเนื่องจากในระหว่างการผลิตเชื้อเพลิงเหล่านั้น กระบวนการอัด และการตากแห้งแห้งเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ จะทำให้น้ำในเชื้อเพลิงถูกกำจัดออกไปบางส่วน และคงเหลือในแห้งเชื้อเพลิงอีกบางส่วน

### 2.4.2 ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile matters)

ปริมาณสารที่ระเหยได้ คือ องค์ประกอบในเชื้อเพลิงที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน เชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยได้สูงจะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูง อย่างไรก็ตามสารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะเลลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดที่ไอน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง

### 2.4.3 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่หลังจากที่ตากแห้งเชื้อเพลิง ความชื้นของเชื้อเพลิงมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง โดยหากเชื้อเพลิงมีความชื้นมากจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง

### 2.4.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงตัว คือ ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยาก โดยจะคงเหลืออยู่ในของเสียหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 750°C เชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

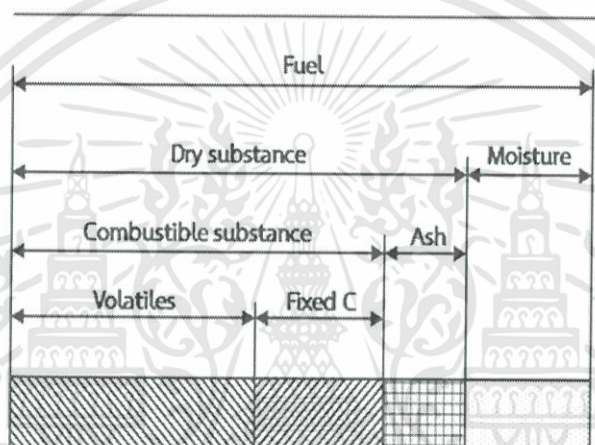
#### 2.4.5 กำมะถันรวม (Total sulfur)

เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยาสันดาปกับออกซิเจน จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ดังนั้นหากเชื้อเพลิงใดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากจึงไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากจะเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ในปริมาณมาก

#### 2.4.6 เถ้า (Ash)

เถ้า คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป ภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $950^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ดังนั้นหากเชื้อเพลิงมีเถ้าปริมาณมากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น

สำหรับคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง [8]

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

วัสดุเหลือใช้	สารระเหย (% โดยน้ำหนัก)	คาร์บอนคงตัว (% โดยน้ำหนัก)	เถ้า (% โดยน้ำหนัก)	กำมะถัน (% โดยน้ำหนัก)	ค่าความร้อน (% โดยน้ำหนัก)
ขี้เลื่อย	75.4	22.4	2.0	0.20	4,500
กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	0.3	4,400
แกลบ	62.7	17.4	20.0	0.14	3,600
ฟางข้าว	74.4	18.3	7.3	-	4,000
ขังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,400
ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,800
ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,500
ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.3	4,000
เห้งมันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,500
เศษหอย	70.5	23.7	5.7	-	4,800
ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,600
ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	1.19	3,100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

ชีวมวลที่นำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงนอกจากควรจะต้องมีค่าความร้อนที่สูง (ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 kcal/kg) ยังจะต้องมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) โดยควรจะมีคาร์บอนคงตัวในปริมาณที่สูง (ไม่ควรต่ำกว่า 15%) และมีองค์ประกอบที่เผาไหม้ไม่ได้หรือเถ้าในปริมาณต่ำ (ไม่ควรเกิน 20%) เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องกำจัดออกจากห้องเผาไหม้ นอกจากนี้ยังจะต้องมีปริมาณกำมะถันรวมต่ำ (ไม่ควรเกิน 2%) เพื่อไม่ให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ (ไม่ควรเกิน 60 ppm) สำหรับความชื้นในชีวมวลแม้ว่าการตากแดดหรืออบแห้งสามารถลดความชื้นในชีวมวลได้ แต่จะเป็นการเพิ่มขั้นตอนและความยุ่งยากในการดำเนินงาน และอาจเพิ่มต้นทุนการผลิตหากต้องใช้วิธีลดความชื้นด้วยการอบแห้ง ซึ่งคุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4

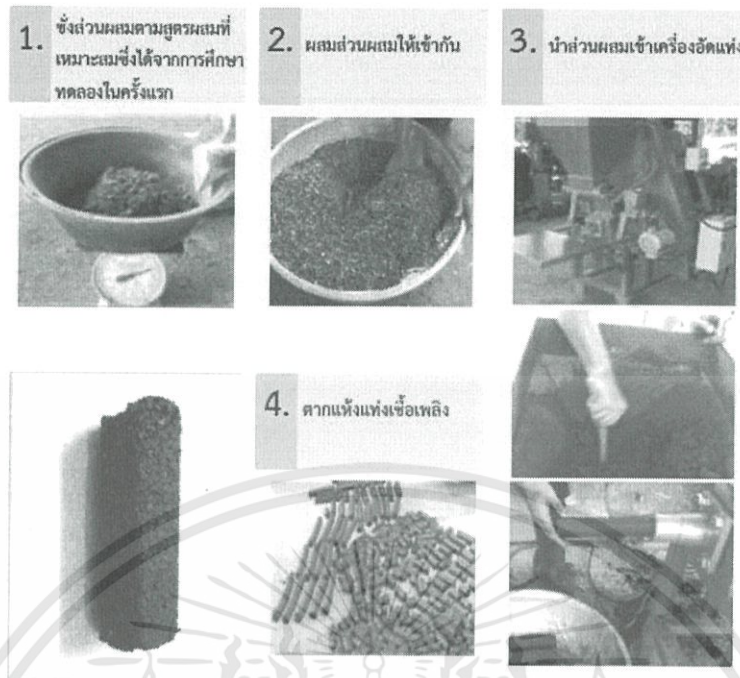
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์คุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของเชื้อที่สามารถแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง	
ค่าความร้อน (Heating Value)	สูง
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	สูง
ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matters)	สูง
เถ้า (Ash)	ต่ำ
ความชื้น (Moisture Content)	ต่ำ
กำมะถันรวม (Total Sulfur)	ต่ำ

## 2.6 การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง

สำหรับวัสดุชีวมวลที่ไม่ต้องปรับปรุงคุณสมบัติ และเนื้อวัสดุสามารถยึดเกาะกันได้โดยไม่ต้องเติมตัวประสาน การผลิตแท่งเชื้อเพลิงเป็นเพียงการนำวัสดุชีวมวลเหล่านั้นเข้าเครื่องอัดเป็นแท่งหรือเม็ดตามรูปแบบที่ต้องการ แต่สำหรับวัสดุชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือทิ้งโดยส่วนใหญ่ มักพบว่ามีความชื้นสูงเกินไป การผลิตที่ซับซ้อนกว่าเช่น มีปริมาณความชื้นมากเกินไป เนื้อวัสดุไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดใหญ่เกินไป ค่าความร้อนต่ำเกินไป ฯลฯ ทำให้ต้องมีกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุชีวมวลก่อนนำมาอัดเป็นแท่ง เช่น การนำวัสดุชีวมวลมาบดย่อยก่อนนำมาทำการอัดเป็นแท่ง การนำมาผสมกับวัสดุชีวมวลอื่นเพื่อเพิ่มค่าความร้อนให้สูงขึ้น หรือการเติมตัวประสานเพื่อช่วยให้วัสดุที่จะอัดแท่งเกาะยึดกัน ดังนั้นในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง จำเป็นต้องทำการศึกษาทดลองหาสูตรผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณวัสดุชีวมวลกับตัวประสาน และ/หรือหาสูตรผสมกับวัสดุอื่นที่มีค่าความร้อนสูงเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าความร้อนตามต้องการ เมื่อได้ส่วนผสมที่เหมาะสมแล้วจึงนำวัสดุชีวมวลและวัสดุผสมต่างๆ มาทำการผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงให้ได้ปริมาณมากพอสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป โดยขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 ขั้นตอนการผลิตแท่งเชื้อเพลิง [8]

## 2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การออกแบบสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดินพอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่าจะประกอบด้วยชิ้นส่วนเครื่องจักรหลายชนิด เพื่อให้การเลือกใช้ชิ้นส่วนของเครื่องจักรเป็นไปอย่างเหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน จึงต้องมีการคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลตามหลักการทางวิศวกรรมซึ่งทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบในส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

### 2.7.1 สายพานร่อนวี (V-belt)

สายพานร่อนวีใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยใช้แรงดึงขึ้นต้นในสายพานค่อนข้างน้อยทั้งนี้ เป็นผลมาจากการยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานเรียกว่ารูปตัววีของสายพานทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลทำให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่อนบนสายพานและในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉิน อาจจะใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่ในการเบรกได้ การขับด้วยสายพานร่อนวีมีข้อดี คือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระดุกได้นอกจากนั้นยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบริงของเพลลาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่สามารถใช้สายพานขับได้โดยที่มีอัตราทดประมาณ 7:1 หรืออาจสูงถึง 10:1 ในการออกแบบการขับด้วยสายพาน จะออกแบบให้เกิดการคืบ (Creep) และการลื่นไถล (Slip) น้อยที่สุดเนื่องจาก การเกิดการคืบและการลื่นไถลทำให้สูญเสียกำลังงานและความเร็ว แต่โดยทั่วไปการสูญเสียที่เกิดจากการคืบมีน้อยมาก ในขณะที่การลื่นไถลอาจทำให้เกิดความร้อนมากเพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการลื่นไถล ด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งานเพื่อลดการลื่นไถล

เมื่อให้  $d$  และ  $D$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม  $n_1$  และ  $n_2$  เป็นความเร็วรอบของล้อขับและล้อตาม โดยความเร็วรอบของล้อขับสามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_1 = \pi d n_1 \quad (1)$$

ความเร็วรอบของล้อตามสามารถคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$v_2 = \pi D n_2 \quad (2)$$

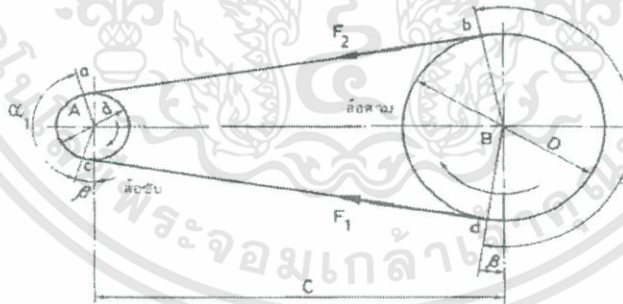
อัตราทดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3)

$$m = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

- เมื่อ
- $v_1$  คือ ความเร็วเชิงเส้นของล้อขับ (m/s)
  - $v_2$  คือ ความเร็วเชิงเส้นของล้อตาม (m/s)
  - $n_1$  คือ ความเร็วรอบของล้อขับ (round/s)
  - $n_2$  คือ ความเร็วรอบของล้อตาม (round/s)
  - $m$  คือ อัตราทด (ไร้หน่วย)
  - $d$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับ (m)
  - $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อตาม (m)

ในการคำนวณหามุมสัมผัสและความยาวของสายพานร่องวีคำนวณได้จากสมการ (4) และ

(5) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.13 การขับสายพาน [9]

$$\alpha_1 = \pi - 2 \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2C} \right) \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \pi + 2 \sin^{-1} \left( \frac{D-d}{2C} \right) \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = (4c^2 - (D-d)^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} (D\alpha_1 + d\alpha_2) \quad (6)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความยาวของสายพานร่องวี (m)  
 $\alpha$  คือ มุมสัมผัสของสายพานร่องวี (radian)

2.7.2 เพลลา (Shaft)

ขนาดของเพลลาขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน โดยเพลลาต้องสามารถทนต่อแรงที่มากกระทำ และมุมบิดของเพลลาในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ซึ่งอาจมีผลทำให้ล้อยางสายพานและแบร์ริงที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ในการคำนวณหาขนาดของเพลลาทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง (Double integration) และวิธีพื้นที่ของโมเมนต์ (Moment area) เป็นต้น ในการศึกษาจะใช้การออกแบบเพลลาตามมาตรฐานของ ASME โดยใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่คิดความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่จะเกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ ( Static design method ) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในภาพที่ 2.14 ให้เพลลาเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ  $d_1$  และ  $d_2$  ตามลำดับ



ภาพที่ 2.14 เพลลาภายใต้แรงกระทำต่างๆ [10]

ความเค้นที่เกิดขึ้นที่เพลลาสามารถแสดงได้ดังสมการ (7) (8) และ (9)

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (7)$$

$$\sigma_b = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (8)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (9)$$

เมื่อ  $\sigma_a$  คือ ความเค้นดึง ( $N/m^2$ )  
 $\sigma_b$  คือ ความเค้นดัด ( $N/m^2$ )  
 $\tau_{xy}$  คือ ความเค้นเฉือน ( $N/m^2$ )

$F$  คือ แรงที่กระทำในแนวแกนเพลลา (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- M คือ โมเมนต์ที่กระทำต่อเพลลา (N.m)  
 T คือ ทอร์คที่กระทำต่อเพลลา (N.m)  
 d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลลา (m)  
 d<sub>i</sub> คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลา (m)

เพลลาส่วนมากจะใช้งานอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ดังนั้นเพลลาอาจเกิดการเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ ความล้า (จากการบิดและการตัด) ดังนั้นจึงต้องนำตัวแปรดังกล่าวมาพิจารณาด้วยดังแสดงในสมการ (10) (11) และ (12)

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (10)$$

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (11)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (12)$$

- เมื่อ  $\alpha$  คือ ตัวประกอบการโก่ง (ไร้หน่วย)  
 $C_m$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด (ไร้หน่วย)  
 $C_t$  คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (ไร้หน่วย)

ขนาดของเพลลาหาได้จากสมการ (13) (14) และ (15)

$$d^3 = \frac{16}{\left(1 - \left(\frac{d_i}{d}\right)^4\right)} \times \left(\frac{1}{\pi \tau_d}\right) \times \left[ (C_t T)^2 + \left( \frac{\alpha F D \left(1 + \left(\frac{d_i}{d}\right)^2\right)}{8} + C_m M \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

กรณีไม่มีแรง F

$$d^3 = \frac{16}{\left(1 - \left(\frac{d_i}{d}\right)^4\right)} \times \left(\frac{1}{\pi \tau_d}\right) \times [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (14)$$

กรณีเพลลาตัน

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi \tau_d}\right) \times [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (15)$$

- เมื่อ  $\tau_d$  คือ ความเค้นเฉือนใช้งาน (N/m<sup>2</sup>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเค้นเฉือนใช้งานของเพลานในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งาน  $55 \text{ N/m}^2$  (สำหรับกรณีเพลามีร่องลิ้ม) และ  $41 \text{ N/m}^2$  (สำหรับกรณีเพลามีร่องลิ้ม)

### 2.7.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรมที่มีหลักการพื้นฐานคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูงส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นบนลวดตัวนำ ดังนั้นลวดที่จะนำมาผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนความร้อนได้สูง ในปัจจุบันมีฮีตเตอร์หลายชนิดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ฮีตเตอร์รัดท่อ (Band heater) ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับการทำความร้อนให้กับท่อหรือถังรูปทรงกระบอก ฉนวนของฮีตเตอร์ทำจากแผ่น Mica และลวดฮีตเตอร์เป็นแบบแบน (Ribbon wire heating element) จึงทำให้ฮีตเตอร์ชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ขนาดเล็กประมาณ 25 mm ไปจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 600 mm มีความกว้างอยู่ระหว่าง 20–300 mm ตัวถังด้านนอกเป็นแผ่นเหล็กหรือสแตนเลส



ภาพที่ 2.15 ฮีตเตอร์รัดท่อ [11]

### 2.7.4 มอเตอร์ (Motor)

ในการคำนวณหาขนาดมอเตอร์ที่จะให้แรงขนาด  $F$  นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาลทำให้เพลาลหมุนไป 1 รอบ ด้วยความเร็วรอบ  $n$  rev/min สามารถคำนวณได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลาลหมุนไป 1 รอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (16)

$$S = 2\pi r \quad (16)$$

เมื่อ  $S$  คือ ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในขณะที่เพลาลหมุนไป 1 รอบ (m)

$r$  คือ รัศมีของเพลาล (m)

คำนวณหา งานจากการหมุนเพลาล 1 รอบ โดยคำนวณได้จากสมการ (17)

$$W_F = F \times 2\pi r \quad (17)$$

เมื่อ  $W_F$  คือ งานจากการหมุนเพลาล 1 รอบ (J)

$r$  คือ รัศมีของเพลาล (m)

$F$  คือ แรงที่กระทำต่อเพลาล (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณงานในขณะที่เพลาหมุน  $n$  rev/min โดยคำนวณได้จากสมการ (18)

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \quad (18)$$

- เมื่อ  $W_F$  คือ งานจากการหมุนเพลา 1 รอบ (J)  
 $r$  คือ รัศมีของเพลา (m)  
 $F$  คือ แรงที่กระทำต่อเพลา (N)  
 $n$  คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลา (rev/min)

คำนวณหาทอร์กจากการหมุนของเพลา โดยคำนวณได้จากสมการ (19)

$$T = F \times r \quad (19)$$

- เมื่อ  $T$  คือ ทอร์กจากการหมุนเพลา (N.m)  
 $r$  คือ รัศมีของเพลา (m)  
 $F$  คือ แรงที่กระทำต่อเพลา (N)

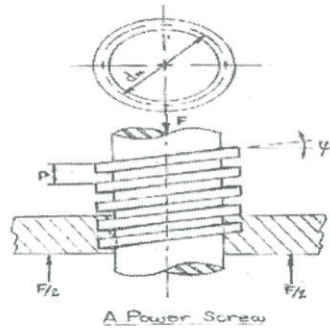
คำนวณหากำลังมอเตอร์ โดยคำนวณได้จากสมการ (20)

$$P = \frac{2\pi T n}{60} \quad (20)$$

- เมื่อ  $P$  คือ กำลังของมอเตอร์ (W)  
 $T$  คือ ทอร์กจากการหมุนเพลา (N.m)  
 $n$  คือ ความเร็วรอบการหมุนของเพลา (rev/min)

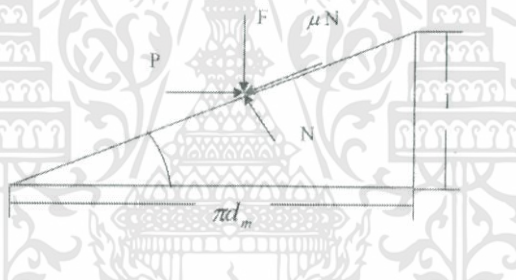
### 2.7.5 สกรู (Screw)

ในเครื่องจักรกลต่างๆ มักจะใช้สกรูในการส่งกำลัง เพื่อเป็นการเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงมุมเป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง หรือถ่ายทอดกำลังจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง สกรูส่งกำลังจะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่จากการหมุนเป็นการเลื่อน ตัวอย่างของสกรูส่งกำลังที่ใช้ในเครื่องจักรกลต่างๆ ได้แก่ แม่แรง (Screw jack) สำหรับยกน้ำหนัก สกรูเพรส (Screw press) สำหรับใช้กดอัดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการ สำหรับการทำงานของสกรูเพรสของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดินพอกสีกับทะเลลายปาล์มเปลาามีหลักการคล้ายคลึงกับการทำงานของสกรูส่งกำลัง ดังนั้นจึงใช้หลักในการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณสกรูส่งกำลัง



ภาพที่ 2.16 สกรูส่งกำลัง [9]

ภาพที่ 2.16 เป็นสกรูส่งกำลังแบบเกลียว มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $d_m$ ) ระยะพิทช์ ( $P$ ) มุมลีด ( $\lambda$ ) และมุมฮีลิค ( $\phi$ ) ถูกกระทำโดยโหลดในแนวแกน  $F$  ในการคำนวณหาโมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักขึ้นทำได้โดยสมมติว่าคลีเกลียวออกหนึ่งรอบ ดังในภาพที่ 2.17 จะได้ฐานของสามเหลี่ยมเท่ากับเส้นรอบวงของวงกลมเฉลี่ยและส่วนสูงของสามเหลี่ยม คือ มุมลีดของเกลียว การที่จะยกภาระขึ้นต้องมีแรง  $P$  กระทำไปทางด้านขวา



ภาพที่ 2.17 แรงปฏิกิริยาบนเกลียว [9]

แรงเสียดทาน คือ ผลคูณของสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  $\mu$  กับแรงปฏิกิริยา  $N$  และกระทำสวนทางกับการเคลื่อนที่ สำหรับการยกน้ำหนักขึ้นภายใต้สภาวะสมดุล ซึ่งสามารถเขียนได้ตั้งสมการ (21) และ (22)

$$F_H = P - N \sin \lambda - \mu N \cos \lambda \quad (21)$$

$$F_V = F + \mu N \sin \lambda - N \cos \lambda \quad (22)$$

เมื่อ  $F_H$  คือ แรงกระทำในแนวนอน ( $N$ )

$F_V$  คือ แรงกระทำในแนวตั้ง ( $N$ )

จากสมการ (21) และ (22) แก้สมการหาแรง  $P$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = [F(\sin \lambda + \mu \cos \lambda)] / (\cos \lambda - \mu \sin \lambda) \quad (23)$$

หารสมการ (23) ด้วย  $\cos \lambda$  และเมื่อได้  $\tan \lambda$  ให้แทนด้วย  $\frac{l}{\pi d m}$  จะได้สมการ (24)

$$P = F \left[ \mu + \left( \frac{1}{\pi d m} \right) \right] / \left[ \tau - \mu \left( \frac{l}{\pi d m} \right) \right] \quad (24)$$

โมเมนต์บิด T คือ ผลคูณของแรง P กับรัศมีเฉลี่ย dm สำหรับยกน้ำหนักขึ้น จะได้สมการ (25) ซึ่งโมเมนต์ที่ใช้เพื่อจุดประสงค์เอาชนะความเสียดทานของเกลียวและยกน้ำหนักขึ้นสมการที่สร้างขึ้นข้างต้นใช้ได้เฉพาะกับสกรูเกลียวสี่เหลี่ยม เพราะภาระ F กระทำตั้งฉากกับพื้นเกลียวและขนานกับแกนสกรู ซึ่งตัวสกรูเพรสได้ออกแบบด้านที่รับภาระเดียวกับสกรูสี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงใช้สมการข้างบนคำนวณได้ทันที

$$T = (F d m / 2) [(l + \mu \pi d m) / (\pi d m - \mu l)] \quad (25)$$

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาวิตรี จันทรานุกรักษ์ [12] งานวิจัยนี้เป็นการทดลองนำทะเลลายปาล์ม ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงหุงต้มเพื่อลดการตัดไม้ทำลายป่า โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำทะเลลายปาล์มมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงและศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ได้โดยเปรียบเทียบจากการวิเคราะห์โดยประมาณ ได้แก่ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากทะเลลายปาล์มในลักษณะ 2 รูปแบบ คือ ฟืนทะเลลายปาล์ม และถ่านอัดแท่งที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์ ซึ่งฟืนทะเลลายปาล์มมี 2 ลักษณะ คือ ฟืนฝอยทะเลลายปาล์ม และฟืนทะเลลายปาล์มอัดแท่ง ส่วนในรูปแบบของถ่านคือถ่านทะเลลายปาล์มอัดแท่งและถ่านกะลาปาล์มที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ โดยถ่านทะเลลายปาล์มอัดแท่งที่อุณหภูมิระหว่าง 250-400°C เป็นเวลาตั้งแต่ 30-120 นาที ผลการทดลองพบว่าฟืนจากทะเลลายปาล์มอัดแท่งมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับฟืนฝอยทะเลลายปาล์ม แต่ฟืนจากทะเลลายปาล์มอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงที่ดีกว่าเพราะมีความหนาแน่นสูงกว่าจึงให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ได้ยาวนานกว่า และเมื่อนำฟืนทะเลลายปาล์มอัดแท่งมาพัฒนาเป็นถ่านทะเลลายปาล์มอัดแท่งโดยการคาร์บอนไนซ์ พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดและประหยัดพลังงานที่สุดในการคาร์บอนไนซ์คือที่อุณหภูมิ 350°C ขึ้นไป เป็นเวลา 45 นาที โดยถ่านทะเลลายปาล์มที่ได้จากเครื่องอัดกำลังสูงจะมีค่าความร้อนสูงสุดที่ 4,387 แคลอรีต่อกรัม สำหรับการผลิตถ่านกะลาปาล์มมีสภาวะที่ดีที่สุดคือคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C เป็นเวลา 45 นาที โดยให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 6,798 แคลอรีต่อกรัม

Suhartini et al. [13] ได้ศึกษาถึงแนวทางในการนำดินพอกสีเหลือทิ้งจากการผลิตน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปรุงอาหารในประเทศอินโดนีเซียผลิตขยะทางอุตสาหกรรมที่เรียกว่าดินพอกสีเป็นจำนวนมาก การนำดินพอกสีมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งสำหรับการกำจัดขยะเหลือทิ้งและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาคุณสมบัติของดินพอกสีในการนำมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง โดยศึกษาถึงการใช้ค่าความดันที่แตกต่างกันในการอัดและศึกษาถึงสัดส่วนปริมาณในการใช้มอลทอเดกซ์ทรินเป็นตัวประสานในการผสม ผลการศึกษาพบว่ามอลทอเดกซ์ทรินที่ปริมาณ 10% และความดันที่ 100 kg/cm<sup>2</sup> เมื่อนำมาผสมกับดินพอกสีและผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ค่าความร้อนสูงที่สุด และมีคุณสมบัติเป็นลักษณะเดียวกันกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงที่ได้มาตรฐาน SNI 1-6235-2000 ดังนั้นดินฟอกสีเหลือทิ้งจึงสามารถนำมาอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้

กษิรา และคณะ [14] ได้นำดินฟอกสี (Bleaching earth) ซึ่งถูกใช้เป็นสารฟอกสีในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันพืชของไทยมาใช้ประโยชน์ การใช้ดินฟอกสีในประเทศไทยมีปริมาณมากถึง 15-18 ตัน/วัน ดินฟอกสีเหล่านี้นี้ถูกกำจัดทิ้งด้วยการนำไปถมดินโดยไม่เกิดประโยชน์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้มีแนวคิดในการผลิตเชื้อเพลิงจากดินฟอกสี โดยศึกษาถึงแรงที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิงและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า แรงที่เหมาะสมในการอัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่ที่  $100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  แท่งเชื้อเพลิงให้ค่าความร้อนเฉลี่ย  $13,440 \text{ (kcal / kg)}$  ค่าความชื้นเฉลี่ย 3.67% ปริมาณสารระเหย 43.75% และปริมาณเถ้าถ่าน 68%

Singh et al. [15] ได้รายงานถึงแนวทางในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขนาดเล็กและขนาดกลาง ซึ่งพบว่าเศษวัสดุเหล่านั้นเมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นประมาณ  $1200 \text{ kg/m}^3$  จะให้ค่าพลังงานความร้อนประมาณ 3500–5000 kcal/kg

อุกฤษฏ์ และคณะ [16] ได้ศึกษาถึงการประเมินคุณภาพเบื้องต้นของวัตถุดิบที่มีศักยภาพสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง อันได้แก่ เศษไม้ยางพารา ทางปาล์ม ลำต้นปาล์ม และทะลายปาล์ม จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนของทะลายปาล์มมีค่าสูงสุดถึง  $19.3 \text{ MJ/kg}$  ซึ่งผ่านมาตรฐาน ในขณะที่ค่าความร้อนของเศษไม้ยางพารา ทางปาล์ม ลำต้นปาล์ม มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบหาปริมาณโลหะหนักในชีวมวลพบว่าชีวมวลทั้ง 4 ชนิด มีโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 2,000–17,000 mg/kg และซัลเฟอร์ อยู่ในช่วง 2.1–3.8 wt.-% ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมากและยังพบปริมาณโลหะหนักอื่นๆ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ศุภชัย และภูมิพัฒน์ [17] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์ สายพันธุ์ปากช่อง โดยนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งใช้เป็นตัวประสานให้ได้สัดส่วนหญ้าเนเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 จากนั้นจึงนำไปอัดแท่งและนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น และค่าต้านทานแรงกด วิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง คือ ดัชนีการแตกร่วน และค่าความร้อน ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสัดส่วนของหญ้าเนเปียร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 100 : 0 เมื่ออัดแท่งออกมาแล้วไม่สามารถคงรูปได้ เนื่องจากไม่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน สัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์คือ สัดส่วนหญ้าเนเปียร์:แป้งมันสำปะหลัง เท่ากับ 90:10 เนื่องจากมีค่าความร้อนที่สูงเท่ากับ  $3,887.1 \text{ cal/g}$  มีค่าต้านทานแรงกดที่สูง  $24.727 \text{ kg/cm}^2$  แท่งเชื้อเพลิงที่ได้จะมีความแข็งแรง ง่ายต่อการขนส่งและการเก็บรักษาที่สะดวก มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ  $0.723 \text{ g/cm}^3$  และมีดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 0.942 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้

ธนาพล และคณะ [18] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการจัดการเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิคซึ่งประกอบด้วยวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM และการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมในรูปของการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ (2) การศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อประเมินความเป็นได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ ผลการศึกษาพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg และมีค่าความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 12.7-20.5 56.0-68.9 3.1-3.6 และ 9.9-20.7 % ตามลำดับ การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแทนฟืนไม้สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 13.13 kgCO<sub>2</sub>eq/kg เปลือกสับปะรดแห้งที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่ามีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 9.4% มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 12,551 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 6 ปี 6 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุดคือ จำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมาคือค่าแรงคนงานจำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

เกรียงไกร และคณะ [19] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบอัดรีดเย็น รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในรูปของค่าความร้อนและความต้านทานแรงกด วัตถุประสงค์หลักที่ใช้ในการทดลองคือลำต้นและกิ่งของสับปุดำนำไปผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ อันได้แก่ แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง และขังข้าวโพด สารเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานทำมาจากแป้งเปียกและโมลาส ก่อนทำการผสมตัวประสานลงไป วัตถุประสงค์จะผูกมัดด้วยเครื่องบดจนมีขนาดเล็กกว่า 3 mm จากนั้นวัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับตัวประสานในสัดส่วนต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงจะแปรผันตรงกับปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของสับปุดำและที่อัตราส่วนผสมเดียวกันแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะให้ค่าความร้อนสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสานเล็กน้อย ค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานจะมีค่าต่ำกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้โมลาสเป็นตัวประสาน แต่อย่างไรก็ตามค่าความร้อนและค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยใช้ตัวประสานทั้งสองชนิดก็ยังคงมีค่าสูงพอที่จะใช้ผลิตแท่งเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีค่าอยู่ประมาณ 11.54-15.36 MJ/kg และมีค่าความต้านทานแรงกดอยู่ที่ 0.46-2.46 MPa

ธนาพล และคณะ [20] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทางมะพร้าวมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในชุมชน โดยศึกษาความเหมาะสมทางเทคนิค คือสมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการโดยชุมชนในทางปฏิบัติ แท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นตัวประสาน อัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดเย็นและได้ทำการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งชีวมวลที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2,865-4,185 cal/g และมีประสิทธิภาพการใช้งานเชิงความร้อนอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8.55-13.36 ค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 7.25-23.40 67.62-76.31 3.33-5.28 และ 2.26-10.71 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงดีที่สุดคือ ทางมะพร้าว 1 kg ต่อน้ำแป้งมันสำปะหลัง 1.25 l การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าอัตราผลตอบแทนภายในร้อยละ 15.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 48,178 บาท และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5 ปี 1 เดือน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยปัจจัยที่เป็นความเสี่ยงในการบริหารจัดการและมีผลต่อผลตอบแทนของโครงการมากที่สุดคือ ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อวัน รองลงมาคือ ค่าแรงคนงาน จำนวนวันที่ผลิต และราคาเครื่องจักร ตามลำดับ

Jittabut [21] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของถ่านอัดแท่งที่มีการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนของฟางข้าวกับใบอ้อย ด้วยอัตราส่วน 100:0 80:20 50:50 20:80 และ 0:100 โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวผสมในการอัดก้อน และใช้กากน้ำตาลที่อัตราส่วน 100:50 หลังจากนั้นนำไปตรวจสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีการตรวจทางห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาร์บอนคงตัว 9.06-13.63% สารระเหย 68.14-74.67% ปริมาณเถ้า 7.84-12.85% และความชื้น 4.2-6.2% ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ เป็นดังนี้ 38.6-43.2% 5.4-6.2% 34.5-36.4% 0.27-0.44% และ 0.02-0.04% ตามลำดับ ค่าความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วง 16.3-17.83 MJ/kg ความหนาแน่นอยู่ในช่วงของ 0.53 0.58 kg/m<sup>3</sup> แร่ธาตุอยู่ในช่วง 32.4-44.7 kg/cm<sup>2</sup> จากผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดของฟางข้าวและไบออยคือ 50:50

Li et al. [22] ได้รายงานถึงพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยพลังงานชีวมวลเป็นตัวเลือกหนึ่งในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติชีวมวลจะมีความชื้นที่สูงและมีการเผาไหม้ที่แตกต่างจากถ่านหิน เนื้อชีวมวลนั้นมีความไม่คงที่ที่ทำให้เผาไหม้ได้แตกต่างจากถ่านหิน พฤติกรรมการเผาไหม้และอัตราการให้ความร้อนขึ้นอยู่กับรูปแบบการเผา จลนพลศาสตร์การเผาไหม้ถูกกำหนดโดยอุณหภูมิจากการเผาไหม้ การทดสอบการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงจะให้ผลการทำนายการเผาไหม้ของชีวมวลที่แม่นยำ การเกิดออกซิเดชันแตกต่างกันตามอุณหภูมิ ความเข้มข้นของออกซิเจน และขนาดของชีวมวลที่ได้ศึกษานอกจากนี้ยังมีปัจจัยค่าความไม่แน่นอนและความร้อนที่เกิดจากการระเหยน้ำ

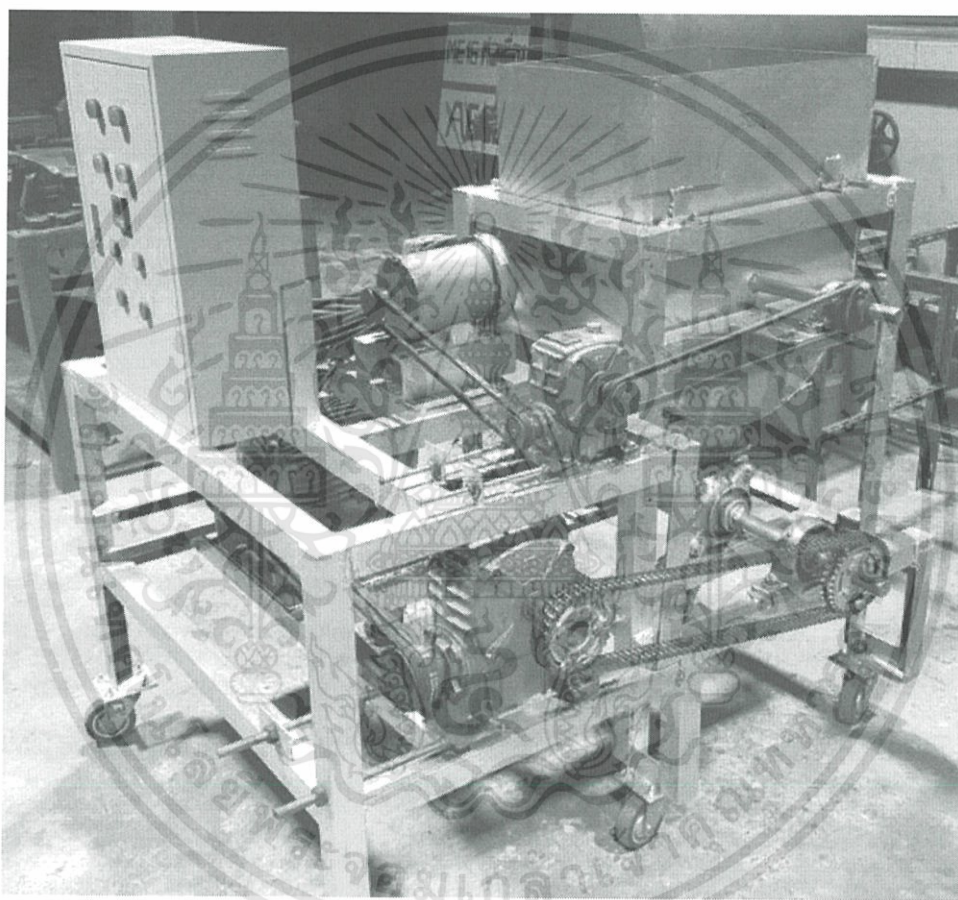
Thabuot et al. [23] ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบแท่นอัดไฮดรอลิกเพื่ออัดก้อนถ่านชีวมวลแบบมีรู โดยชีวมวลจะถูกทำให้แห้งโดยการตากแดดและนำมาบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนการผสม เส้นใยปาล์มและกากน้ำตาลจะใช้เป็นตัวประสานที่ 20% โดยน้ำหนัก ระดับความดันที่ใช้ 40 50 60 และ 70 kg/cm<sup>2</sup> ความหนาแน่น ค่าความร้อน และอัตราการเผาไหม้ของถ่านอัดก้อนที่เตรียมไว้ถูกตรวจสอบ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านอัดก้อนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยภายใน เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยภายนอก และความสูงอยู่ที่ 12 38 และ 25-30 mm ตามลำดับ ความหนาแน่นของถ่านอัดก้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความดันอยู่ในช่วงของ 260-416 kg /m<sup>3</sup> ถ่านมีความหนาแน่นสูงสุดได้รับจากการใช้ส่วนผสมของซีลี้อยู่ไม่ไผ่กับกากน้ำตาล 20% โดยน้ำหนัก และความดัน 70 kg/cm<sup>2</sup> ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดก้อนจากไม้ไผ่มีค่าประมาณ 21.26 MJ/kg และไม้ยางพาราอัดก้อนได้รับอัตราการเผาไหม้ช้าที่สุดที่ 2.01 g/min

Prasityousil และ Muenjina [24] การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการอัดก้อนเชื้อเพลิงแข็งที่ผลิตโดยการอัดขึ้นรูปของวัสดุที่เหลือทิ้งในการทำปุ๋ยหมัก (MWCC) และซีลี้อยู่ (SC) การทดลองดำเนินการ โดยนำถ่านอัดก้อนที่ทำจากอัตราส่วนต่างๆดังนี้ 100:0 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำกากสำที่ 10% 15% และ 20% WT เป็นสารยึดเกาะ ในการอัดก้อนเชื้อเพลิงจะอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.8 cm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1.3 cm และมีความยาว 15 cm ถ่านอัดก้อนได้รับการประเมินคุณสมบัติในด้านความชื้น เถ้าสารระเหย คาร์บอนคงที่ กำมะถัน ค่าความร้อนเผาไหม้และความหนาแน่น ผลการทดลองพบว่า ค่าความร้อนเผาไหม้และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแข็งอัดก้อนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของซีลี้อยู่ถ่านและอัตราร้อยละที่สูงขึ้นของสารยึดเกาะ สัดส่วนของปุ๋ยหมักต่อซีลี้อยู่ 80:20 มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปุ๋ยหมักสามารถนำมาเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

จากการวิจัยข้างต้นยืนยันได้ว่าเศษวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยการนำมาแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาถึงการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทะลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีที่เหลือทิ้ง

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบก่อนนำมาผสม (ดินฟอกสีเหลือทิ้งและทะเลายปาล์มเปล่า) และอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง จำเป็นต้องมีการจัดเตรียมวัตถุดิบก่อน โดยการนำวัตถุดิบมาคัดแยกสิ่งปลอมปนออก จากนั้นนำทะเลายปาล์มเปล่ามาสับย่อยด้วยเครื่องสับเพื่อลดขนาดของทะเลายปาล์มเปล่าและใช้ตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดประมาณ 1 และ 5 cm นำทะเลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการบดย่อย และดินฟอกสี มาป้อนเข้าเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ออกแบบสร้างขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทะเลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลือทิ้ง

#### 3.1 การสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากทะเลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลือทิ้ง

เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

##### 3.1.1 ส่วนกวนผสม

ส่วนกวนผสมทำหน้าที่ในการกวนส่วนผสมของดินฟอกสี และทะเลายปาล์มเปล่าเข้าด้วยกัน ในอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของ ทะลายปาล์ม : ดินฟอกสี ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

ชื่อตัวอย่าง	ดินฟอกสี (%)	ทะลายปาล์ม (%)	กระบวนการอัด
A	30	70	
B	40	60	
C	50	50	อัดร้อน
D	60	40	
E	70	30	

ส่วนกวนผสมประกอบไปด้วยใบกวนผสมและถังกวนผสม ใบกวนถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 HP 0.75 kw หมุนที่ความเร็วรอบ 25 rpm ใช้ฟูลเลอร์ขนาด 71 mm และ 222.47 mm ใช้สายพานหน้าตัด A ส่งกำลังผ่านชุดเกียร์ทด 1:10 โดยใช้เวลาในการกวนส่วนผสม 10-20 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3.2

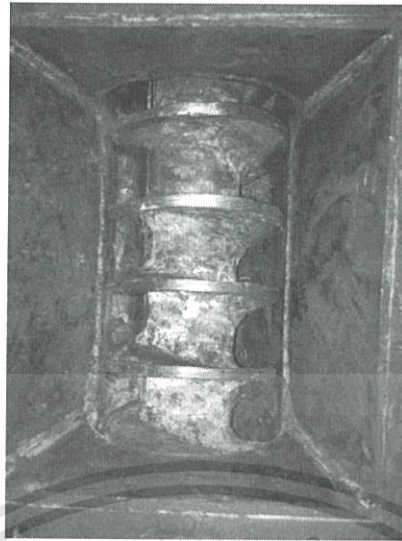


ภาพที่ 3.2 ใบกวนและถังกวน

### 3.1.2 ส่วนอัดแท่ง

ส่วนผสมที่ผ่านการกวนผสมในส่วนกวนจะถูกนำมาอัดขึ้นรูปในส่วนอัดแท่งด้วยสกรู ซึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวส่งกำลัง (ดังแสดงในภาพที่ 3.3) เกลียวจะส่งกำลังไปยังเพลลาใบเกลียวโดยใช้ฟูลเลอร์ขนาด 255 mm และ 100 mm ใช้สายพานหน้าตัด B จำนวน 3 เส้น ทำหน้าที่อัดแท่งส่วนผสมของทะลายปาล์มและดินฟอกสี ไปยังท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm โดยสกรูถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1HP 0.75 kw ซึ่งจะอัดแท่งเชื้อเพลิงออกมาเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm และนำมาตัดให้แท่งเชื้อเพลิงมีความยาว 10 cm โดยขนาดความยาวของแท่งเชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นขนาดความยาวที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงอ้างอิงมาจากมาตรฐาน ASTM [25,26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 สกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง

ในการศึกษานี้ใช้การอัดขึ้นรูปแบบร้อน โดยในกระบวนการอัดขึ้นรูปแบบร้อนไม่มีการใช้ตัวประสาน ใช้ความเร็วรอบในการอัด 30 40 และ 50 rpm และใช้อุณหภูมิในการอัดที่ 150 250 และ 350°C อัดส่วนผสมของทะเลลายปาล์มและดินพอกสีที่ 5 อัตราส่วน แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วถูกนำมาอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 8 h เพื่อลดความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงให้ต่ำกว่า 12% (d.b.) จากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงมาเก็บเพื่อรอส่งไปตรวจสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

### 3.2 การเตรียมส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ทำการเตรียมวัตถุดิบสำหรับใช้เป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ทะเลลายปาล์มเปล่านำมาคัดแยกสิ่งเจือปน จากนั้นนำมาสับย่อยและร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดประมาณ 1 และ 5 cm ดินพอกสีนำมาคัดแยกสิ่งเจือปน หลังจากเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมใน 5 อัตราส่วนดังกล่าวที่กำหนดในตารางที่ 3.1 จากนั้นนำส่วนผสมมาป้อนเข้าเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

### 3.3 การทดสอบอัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง

อัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง (ก้อนต่อชั่วโมง หรือ piece/h) แสดงถึงจำนวนก้อนเชื้อเพลิงที่อัดได้ในเวลา 1 h ในการทดสอบอัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิงมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) ป้อนส่วนผสมในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเข้าสู่ส่วนกวนผสมเพื่อกวนส่วนผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การป้อนส่วนผสมเข้าสู่ส่วนกวนผสม

2) ก่อนนำส่วนผสมที่ผ่านการกวนเข้าสู่ส่วนอัด ทำการปรับอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ของสกรูอัดเพื่อควบคุมความเร็วรอบในการอัดให้มีค่าเท่ากับ 30 40 และ 50 rpm ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การวัดและควบคุมความเร็วรอบในการอัด

3) ส่วนผสมของแท่งเชื้อเพลิงไหลจากส่วนกวนผสมเข้าสู่ส่วนอัด และถูกอัดออกมาเป็นรูปทรงกระบอก ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ดำเนินการวัดความยาวของแท่งเชื้อเพลิงที่ถูกอัดออกมาเทียบกับเวลาที่ใช้ในการอัดเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิงในแต่ละความเร็วรอบของการอัด

### 3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

ในการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงใช้วิธีการทดสอบโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM D7582 และ D5865 [27,28]

#### 3.4.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ในการหาปริมาณความชื้นในวัสดุ ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังวัสดุเพื่อทำให้ความชื้นระเหยออกไปจากวัสดุ ซึ่งความร้อนที่ใช้ในการระเหยคือความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำ โดยความร้อนสามารถถ่ายเทไปยังวัสดุได้หลายรูปแบบ เช่น การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุโดยส่วนใหญ่จะเป็นในรูปของการนำความร้อนมาอบแห้งจนความชื้นระเหยออกจากวัสดุจนหมด หลังจากนั้นจึงนำน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาปริมาณความชื้น ซึ่งปริมาณความชื้นของวัสดุสามารถหาได้ 2 แบบคือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก และปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังแสดงในสมการ (26) และ (27) ตามลำดับ

$$M_w = [(W-d)/W] \times 100 \quad (26)$$

$$M_d = [(W-d)/d] \times 100 \quad (27)$$

เมื่อ  $M_w$  คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.)

$M_d$  คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)

$W$  คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (g)

$d$  คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (g)

#### 3.4.2 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้าคือส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือจากสภาวะสันดาปภายในเตาเผาที่อุณหภูมิ  $600^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 h ซึ่งภายในเถ้าประกอบไปด้วย ซิลิกา แคลเซียม และแมกนีเซียมออกไซด์ ปริมาณเถ้าสามารถคำนวณได้ดังสมการ (28)

$$A = [(W_T \times W_b)/W_s] \times 100 \quad (28)$$

เมื่อ  $A$  คือ ปริมาณเถ้า (%)

$W_T$  คือ น้ำหนักถ้วยและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา (g)

$W_b$  คือ น้ำหนักถ้วย (g)

$W_s$  คือ น้ำหนักตัวอย่าง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matters)

ปริมาณสารระเหยคือส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถระเหยได้ ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจนและ ไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ปริมาณสารระเหยสามารถคำนวณได้ดังสมการ (29)

$$V = \{[(W_{bc} - W_{ac})/W_s] \times 100\} - M \quad (29)$$

เมื่อ V คือ ปริมาณสารระเหย (%)

M คือ ปริมาณความชื้น (% d.b. หรือ % w.b.)

$W_{bc}$  คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างก่อนเผา (g)

$W_{ac}$  คือ น้ำหนักของถ้วยพร้อมฝาและตัวอย่างหลังเผา (g)

$W_s$  คือ น้ำหนักตัวอย่าง (g)

### 3.4.4 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อน คือ ความร้อนของการสันดาปขึ้นอยู่กัปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงอัดแท่งในการหาค่าความร้อนใช้ Automatic calorimeter ยี่ห้อ Leco รุ่น AC-500 แสดงค่าความร้อนในหน่วยเป็น cal/g เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพสูงจะให้ค่าความร้อนสูง และมีปริมาณคาร์บอนคงตัวและสารระเหยเป็นองค์ประกอบอยู่สูงแต่มีปริมาณเถ้าต่ำ สำหรับเชื้อเพลิงที่มีค่าความชื้นสูงจะให้ค่าความร้อนต่ำ อย่างไรก็ตามการพิจารณาคุณภาพของถ่านอัดแท่งไม่ได้พิจารณาเฉพาะค่าความร้อนแต่จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของถ่านทางด้านอื่นๆด้วย

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ผลกระทบของขนาดทะเลายปาล์มต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

ในการศึกษาได้สับย่อยทะเลายปาล์มเปล่าและร่อนด้วยตะแกรงเพื่อคัดแยกทะเลายปาล์มเปล่าเป็น 2 ขนาด คือ 1 และ 5 cm จากนั้นนำทะเลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีมาผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ และอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง ผลการศึกษาพบว่า ที่ทุกความเร็วรอบการอัดและทุกอัตราส่วนผสมในการศึกษานี้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปทะเลายปาล์มเปล่าที่ขนาด 5 cm เป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากขนาดของทะเลายปาล์มเปล่าที่ใหญ่เกินไป ทำให้เมื่อนำไปผสมกับดินฟอกสีและอัดขึ้นรูปด้วยกระบอกลัด เกิดปัญหาการอัดตัวที่แน่นเกินไปในกระบอกลัด และส่งผลให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงออกมาได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ดังนั้นในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะเลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลือทิ้งที่ความเร็วรอบในการอัด 30 40 และ 50 rpm ไม่ควรใช้ทะเลายปาล์มเปล่าที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ 5 cm



ภาพที่ 4.1 ส่วนผสมที่อัดตัวแน่นเกินไปในกระบอกลัด



ภาพที่ 4.2 เศษส่วนผสมที่นำออกมาจากกระบอกลัด

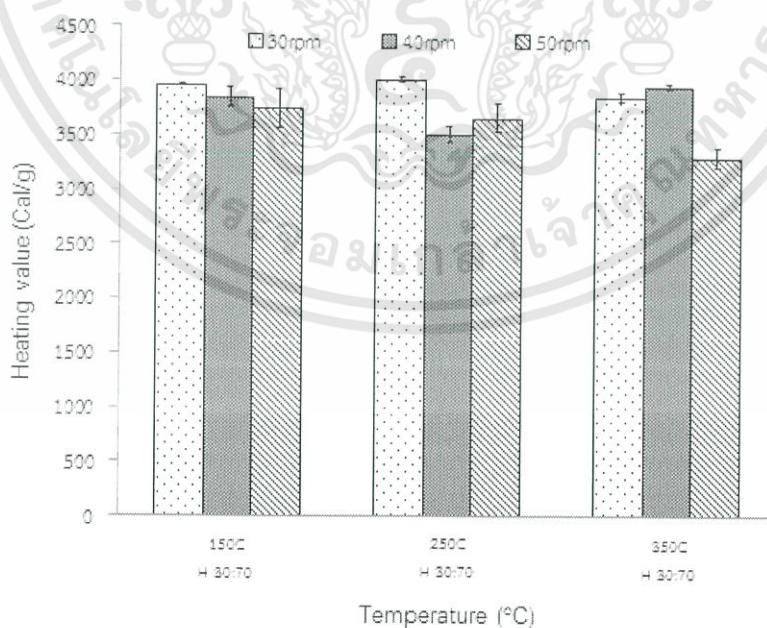
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลกระทบของอัตราส่วนผสม อุณหภูมิ และความเร็วยรอบในการอัดต่อคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

จากผลการศึกษาในข้อ 4.1 ทำให้เหลือขนาดของทะเลาะทะเลาะปาล์มเปล่าที่ใช้ในการศึกษาเพียงขนาดเดียวคือ 1 cm นำทะเลาะปาล์มเปล่าดังกล่าวมาผสมกับดินฟอกสีในอัตราส่วน 30:70 40:60 50:50 60:40 และ 70:30 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ความเร็วยรอบ 30 40 และ 50 rpm ที่อุณหภูมิการอัด 150 250 และ 350°C นำแท่งเชื้อเพลิงมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงได้ผลการศึกษาดังนี้

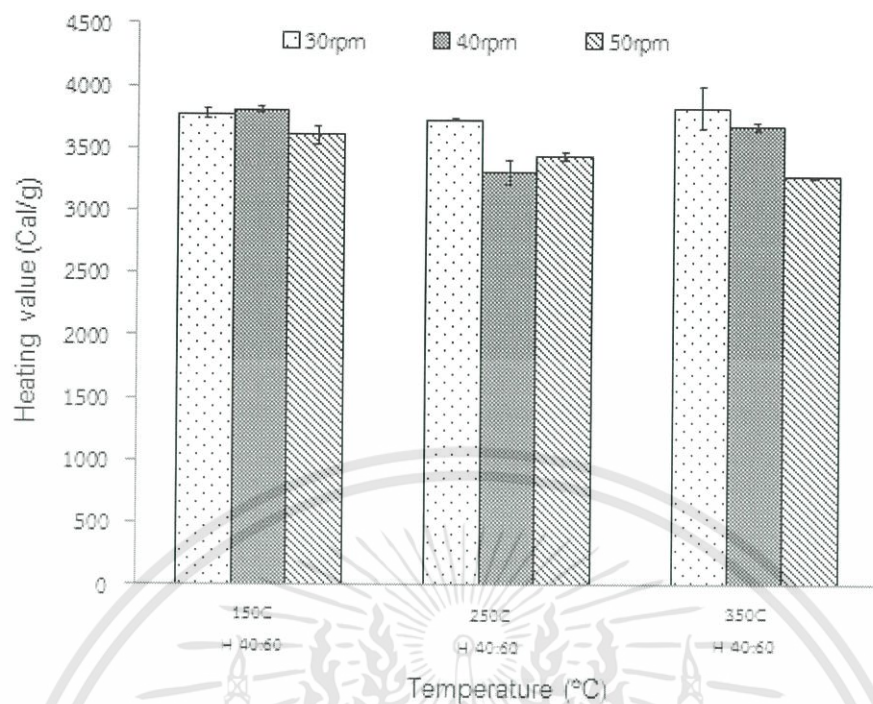
### 4.2.1 ค่าความร้อน (Heating value)

ผลการศึกษาพบว่า ดินฟอกสีและทะเลาะปาล์มเปล่าก่อนนำมาผสมมีค่าความร้อนเฉลี่ย 2,639 และ 3,399 Cal/g ตามลำดับ จากผลงานวิจัยของ Suhartini et al. [13] ที่ได้รายงานถึงค่าความร้อนของดินฟอกสีที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มสำหรับปรุงอาหาร ซึ่งมีค่าประมาณ 1,739 Cal/g และฐานิตยและคณะ [29] ได้รายงานถึงค่าความร้อนของทะเลาะปาล์มเปล่า ซึ่งมีค่าประมาณ 3,348 Cal/g ผลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความใกล้เคียงกันของค่าความร้อนที่ได้รับจากทะเลาะปาล์มเปล่า ในขณะที่ค่าความร้อนที่ได้รับจากดินฟอกสีมีค่าที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ดินฟอกสีที่ได้รับมาจากแต่ละโรงงานมีองค์ประกอบที่ต่างกัน ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้รับจากดินฟอกสีจึงแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามค่าความร้อนของดินฟอกสีและทะเลาะปาล์มในการศึกษานี้มีค่าที่ค่อนข้างสูง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัตถุดิบในการที่จะนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะทะเลาะปาล์มเปล่าให้ค่าความร้อนที่สูงกว่า 3,000 Cal/g ซึ่งถือว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล [8] ดินฟอกสีและทะเลาะปาล์มเปล่าเมื่อนำมาผสมและอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มีค่าความร้อนดังแสดงในภาพที่ 4.3 ถึง 4.7

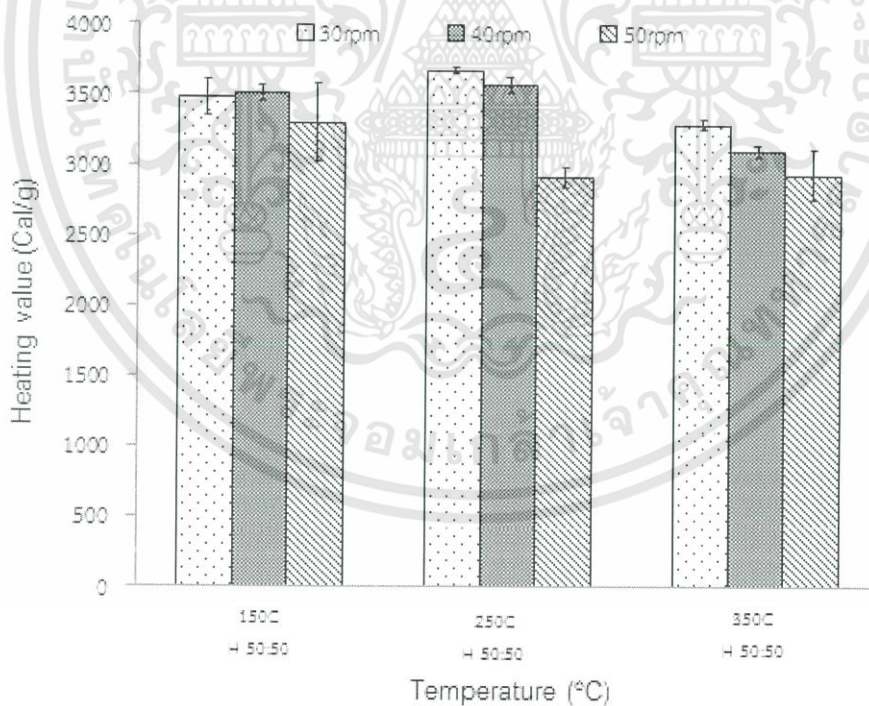


ภาพที่ 4.3 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลาะปาล์มเปล่า 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

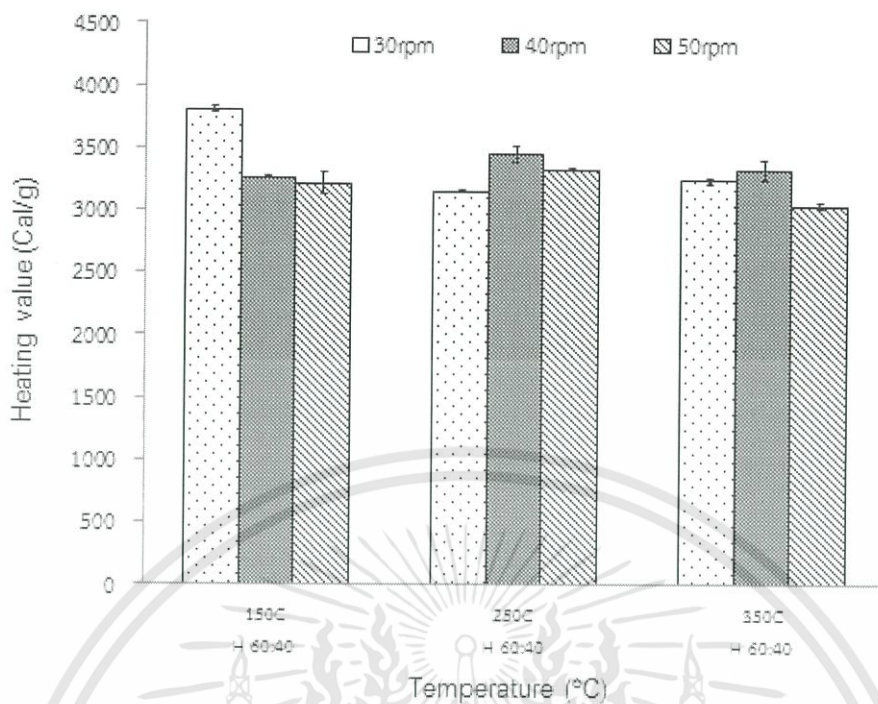


ภาพที่ 4.4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 40:60

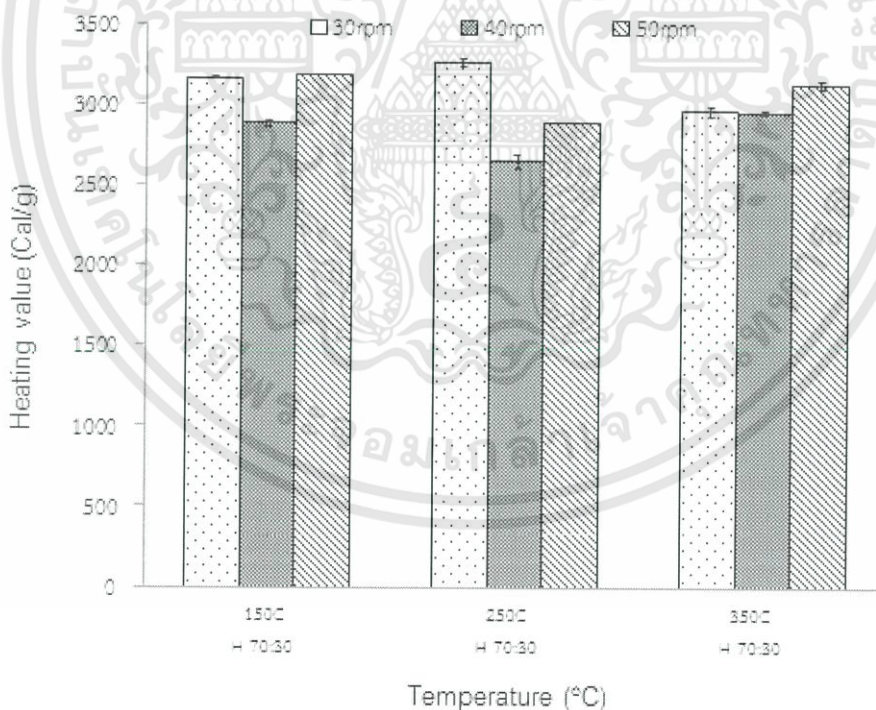


ภาพที่ 4.5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 60:40



ภาพที่ 4.7 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.3 ถึง 4.7 แสดงถึงค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงลดลงตามการลดลงของปริมาณทะเลายปาล์มเปล่า โดยที่อัตราส่วนดินฟอกสีต่อทะเลายปาล์มเปล่า 30:70 มีปริมาณความร้อนสูงสุดในช่วง 3,296-4,009 Cal/g สอดคล้องกับค่าความร้อนของทะเลายปาล์มเปล่าก่อนนำมาผสมที่มีค่าเท่ากับ 3,399 Cal/g และค่าความร้อนของเส้นใยปาล์มที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในทะเลายปาล์มที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 4,820 Cal/g [8] ปริมาณความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงประมาณ 18-19% เมื่อปริมาณทะเลายปาล์มเปล่าลดลงจาก 70 เป็น 30% โดยน้ำหนัก (ปริมาณทะเลายปาล์มลดลงประมาณ 57.14%) ส่งผลให้ที่อัตราส่วนดินฟอกสีต่อทะเลายปาล์มเปล่า 70:30 มีปริมาณความร้อนต่ำสุดในช่วง 2,641-3,259 Cal/g ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่าที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลกระทบต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง

เมื่อพิจารณาผลกระทบของความเร็วรอบในการอัดต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง พบว่าที่อัตราส่วนดินฟอกสีต่อทะเลายปาล์มเปล่า 30:70 40:60 50:50 และ 60:40 ค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามค่าความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ในทุกอุณหภูมิการอัด ยกเว้นที่อัตราส่วนผสม 30:70 50:50 ภายใต้อุณหภูมิการอัด 150°C ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามที่อัตราส่วน 70:30 ค่าความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิการอัด 250°C ดังแสดงในภาพที่ 4.7 การลดลงของค่าความร้อนตามความเร็วรอบในการอัดที่เพิ่มขึ้นอาจจะเป็นผลมาจากความเร็วในการอัดตัวที่เพิ่มขึ้น ทำให้เชื้อเพลิงมีเวลาอยู่ในกระบอกลดน้อยลง จึงส่งผลให้การอัดตัวของแท่งเชื้อเพลิงไม่ดีเท่าที่ควรหรือแท่งเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นที่ต่ำ เมื่อนำมาเผาไหม้จึงให้ค่าความร้อนต่ำ นอกจากนี้การอัดตัวของแท่งเชื้อเพลิงที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในการอัดยังอาจส่งผลต่อปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงมีสูงจะส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดต่ำลงเนื่องจากความร้อนบางส่วนถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ

ตารางที่ 4.1 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลายปาล์มเปล่า 30:70

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Heating value (Cal/g)
30	150	3962.08 ± 0.88 <sup>b</sup>
	250	4009.71 ± 19.54 <sup>b</sup>
	350	3847.72 ± 41.32 <sup>a</sup>
40	150	3841.31 ± 86.73 <sup>b</sup>
	250	3507.04 ± 70.24 <sup>a</sup>
	350	3944.45 ± 18.87 <sup>b</sup>
50	150	3746.44 ± 181.19 <sup>b</sup>
	250	3654.80 ± 130.85 <sup>ab</sup>
	350	3296.74 ± 94.18 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.2 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 40:60

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Heating value (Cal/g)
30	150	3771.78 ± 43.21 <sup>a</sup>
	250	3725.16 ± 12.48 <sup>a</sup>
	350	3817.36 ± 167.89 <sup>a</sup>
40	150	3809.88 ± 27.87 <sup>b</sup>
	250	3306.89 ± 96.99 <sup>a</sup>
	350	3670.40 ± 35.50 <sup>b</sup>
50	150	3606.56 ± 71.64 <sup>c</sup>
	250	3433.36 ± 30.24 <sup>b</sup>
	350	3269.26 ± 9.12 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.3 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 50:50

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Heating value (Cal/g)
30	150	3479.60 ± 128.39 <sup>ab</sup>
	250	3666.96 ± 17.46 <sup>b</sup>
	350	3283.50 ± 30.48 <sup>a</sup>
40	150	3505.16 ± 60.54 <sup>b</sup>
	250	3562.18 ± 53.72 <sup>b</sup>
	350	3089.76 ± 41.13 <sup>a</sup>
50	150	3298.35 ± 276.10 <sup>a</sup>
	250	2910.44 ± 71.23 <sup>a</sup>
	350	2923.41 ± 177.93 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.4 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 60:40

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Heating value (Cal/g)
30	150	3807.29 ± 17.13 <sup>c</sup>
	250	3148.32 ± 3.66 <sup>a</sup>
	350	3236.64 ± 23.33 <sup>b</sup>
40	150	3263.01 ± 8.60 <sup>a</sup>
	250	3449.02 ± 63.50 <sup>b</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	350	3320.42 ± 84.76 <sup>ab</sup>
	150	3215.29 ± 88.02 <sup>b</sup>
50	250	3326.83 ± 8.22 <sup>b</sup>
	350	3038.66 ± 31.56 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

#### ตารางที่ 4.5 ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปลาบ่มปลา 70:30

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Heating value (Cal/g)
30	150	3161.72 ± 5.49 <sup>b</sup>
	250	3259.43 ± 25.12 <sup>c</sup>
	350	2953.01 ± 31.89 <sup>a</sup>
40	150	2880.67 ± 18.31 <sup>b</sup>
	250	2641.10 ± 46.90 <sup>a</sup>
	350	2948.62 ± 13.87 <sup>b</sup>
50	150	3185.04 ± 0.20 <sup>c</sup>
	250	2882.36 ± 2.98 <sup>a</sup>
	350	3119.74 ± 21.33 <sup>b</sup>

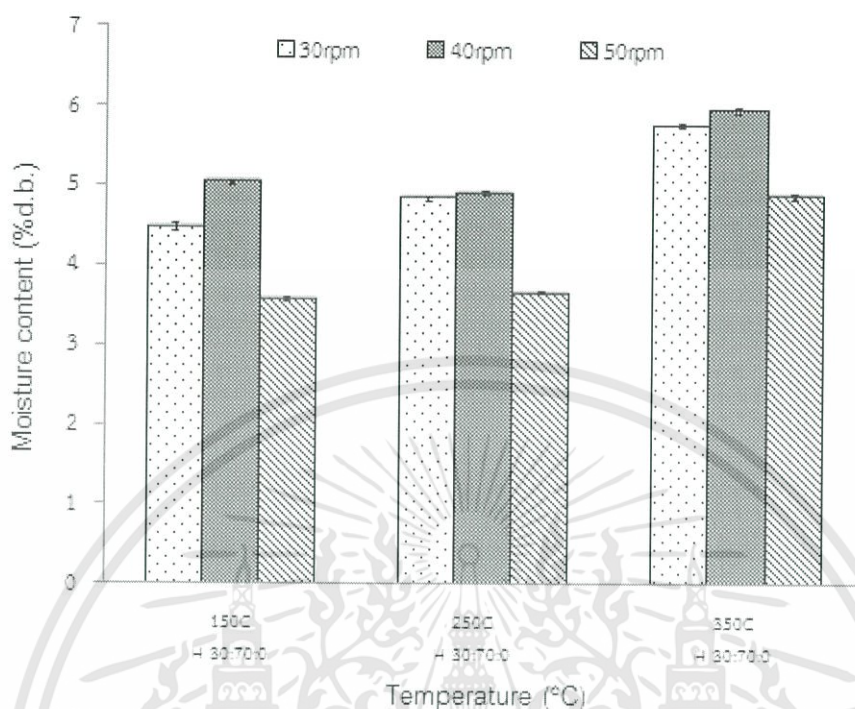
ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิการอัดในช่วง 150 ถึง 250°C ต่อค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.5 พบว่า ที่อัตราส่วนผสม 30:70 40:60 และ 50:50 อุณหภูมิการอัดที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลให้ค่าความร้อนเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นที่ความเร็วรอบการอัด 30 rpm (ที่อัตราส่วน 30:70), 40 rpm (ที่อัตราส่วน 50:50) และ 50 rpm (ที่อัตราส่วน 40:60) มีการลดลงของค่าความร้อนเมื่ออุณหภูมิการอัดเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนผสมของดินฟอกสีเพิ่มขึ้นเป็น 60:40 และ 70:30 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิการอัดเพิ่มขึ้น ในทุกความเร็วรอบของการอัด ยกเว้นที่ความเร็วรอบ 40 rpm อย่างไรก็ตามค่าความร้อนของเชื้อเพลิงค่อนข้างแปรปรวนไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการอัด

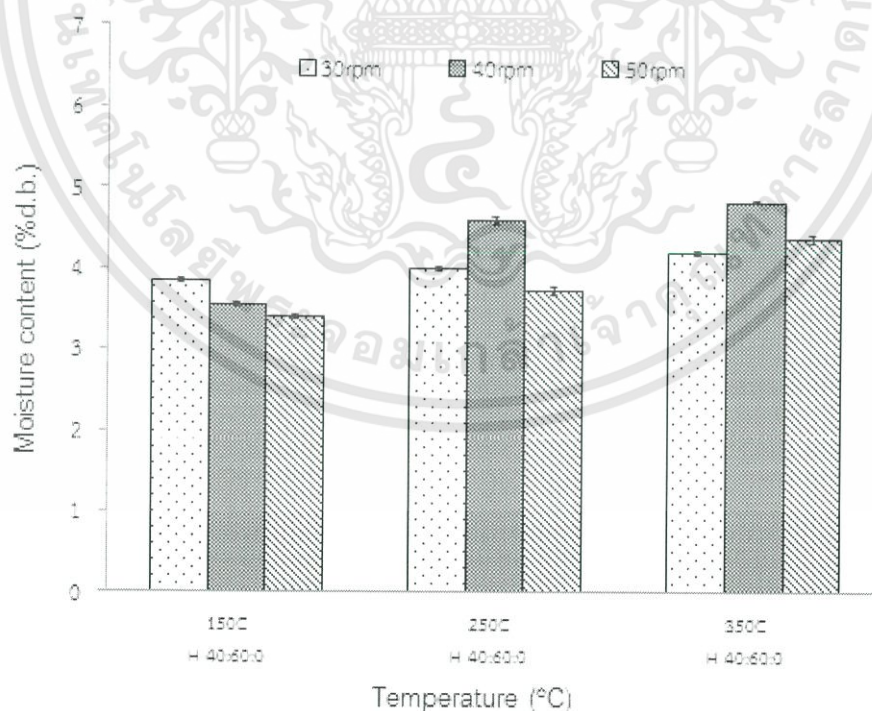
จากผลค่าความร้อนดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากดินฟอกสีและทะเลสาบปลาบ่มปลาในทุกอัตราส่วนที่ทำการศึกษ (ยกเว้นในบางความเร็วรอบหรือบางอุณหภูมิในการอัด) มีคุณสมบัติด้านค่าความร้อนที่เหมาะสมสำหรับเป็นก้อนเชื้อเพลิง กล่าวคือ มีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 3,000 (Cal/g) [8] โดยเฉพาะที่อัตราส่วนผสมของทะเลสาบปลาบ่มปลาตั้งแต่ 40% ขึ้นไป จะให้ค่าความร้อนที่สูงในช่วง 3,600-3,900 (Cal/g) ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์เชื้อเพลิงที่ดี [30-32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

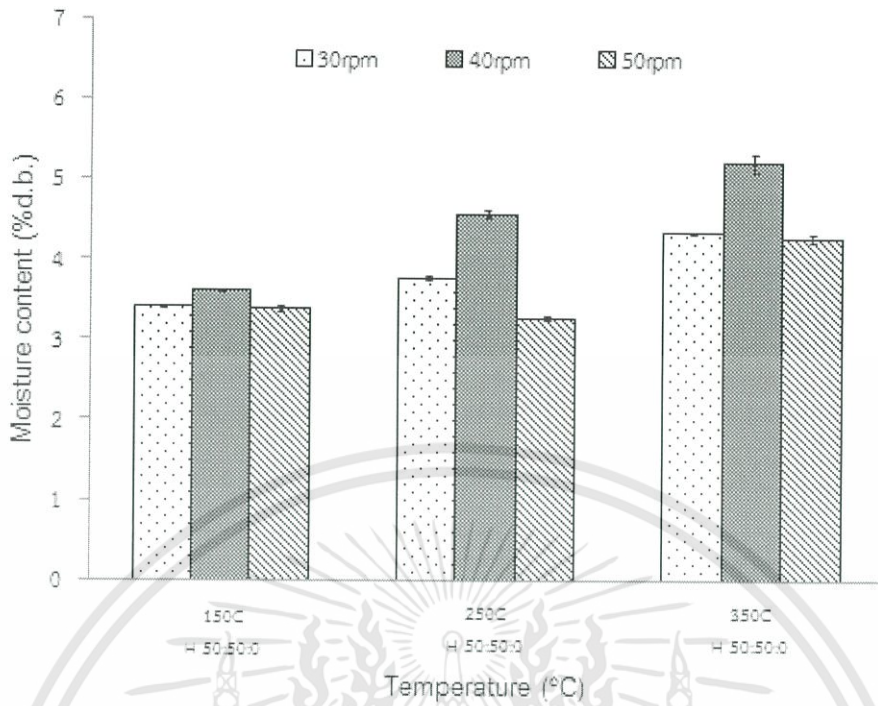


ภาพที่ 4.8 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 30:70

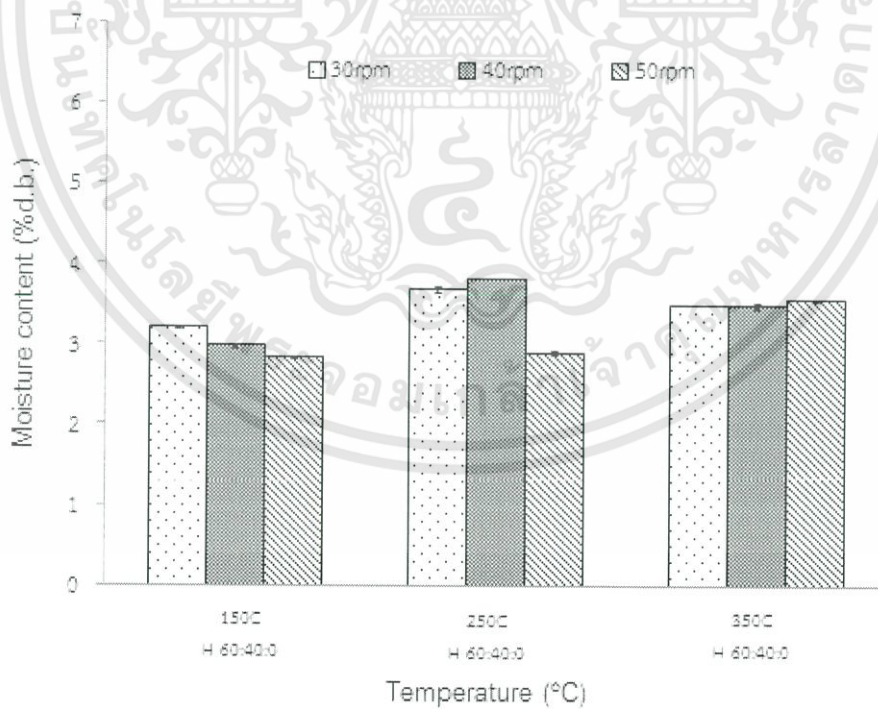


ภาพที่ 4.9 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 40:60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

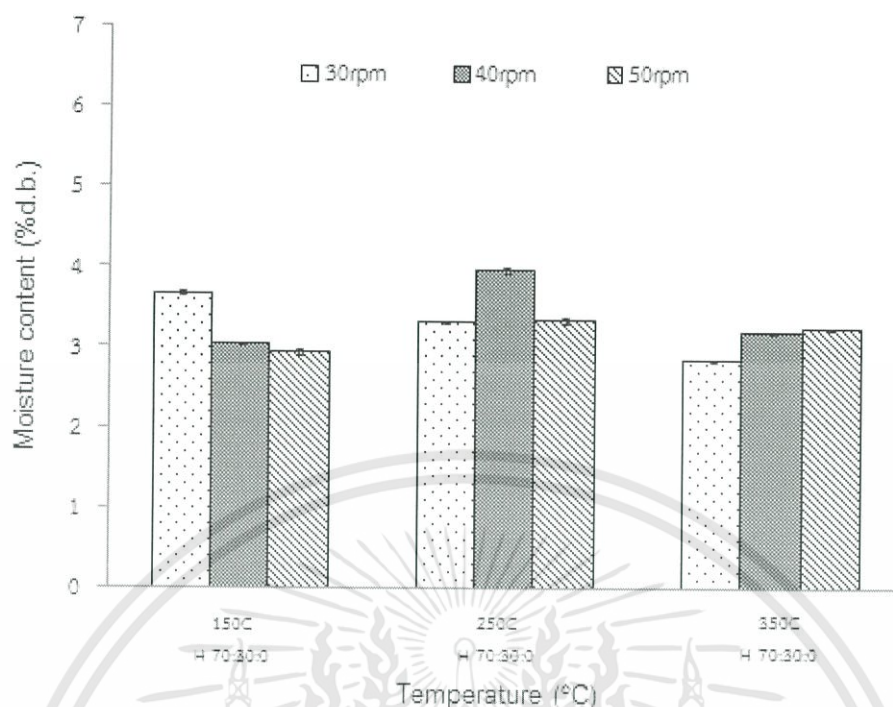


ภาพที่ 4.10 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลาะปาล์มเปล่า 50:50



ภาพที่ 4.11 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลาะปาล์มเปล่า 60:40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

ผลการศึกษพบว่า ดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่าก่อนนำมาผสมมีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 3.87 และ 24.9% (d.b.) ตามลำดับ หลังผ่านกระบวนการอัดแท่งและนำมาอบแห้งในตู้อบเพื่อลดความชื้นแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่าที่อัตราส่วนผสมต่างๆมีปริมาณความชื้นดังแสดงในภาพที่ 4.8 ถึง 4.12 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณส่วนผสมของทะเลสาบปาล์มเปล่าที่ลดลง โดยที่ปริมาณส่วนผสมทะเลสาบปาล์มเปล่าสูงสุด 70% แท่งเชื้อเพลิงมีปริมาณความชื้นสูงสุดอยู่ในช่วง 3.54-5.93% (d.b.) และมีปริมาณความชื้นต่ำสุดอยู่ในช่วง 2.83-3.96% (d.b.) เมื่อปริมาณส่วนผสมทะเลสาบปาล์มเปล่าลดลงเหลือ 30% สอดคล้องกับค่าความชื้นของส่วนผสมก่อนการอัดแท่ง ซึ่งปริมาณความชื้นส่วนใหญ่ในแท่งเชื้อเพลิงจะได้อาจมาจากปริมาณความชื้นของทะเลสาบปาล์ม

จากภาพที่ 4.8 ถึง 4.12 แสดงผลกระทบของความเร็วยรอบในการอัดต่อปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นมีค่าที่ค่อนข้างแปรปรวนไม่สามารถระบุแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วยรอบในการอัด เช่นเดียวกับผลกระทบของอุณหภูมิในการอัดต่อปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ถึง 4.10 ที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิในการอัด ยกเว้นที่ส่วนผสมของทะเลสาบปาล์มเปล่า 60% ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในการอัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในทุกเงื่อนไขที่ทำการศึกษามีปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงในระดับที่ต่ำกว่า 10% (d.b.) ซึ่งเป็นเกณฑ์ความชื้นที่เหมาะสมในเชื้อเพลิง [33]

ตารางที่ 4.6 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 30:70

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Moisture content (% d.b.)
30	150	4.47 ± 0.06 <sup>a</sup>
	250	4.83 ± 0.02 <sup>b</sup>
	350	5.74 ± 0.04 <sup>c</sup>
40	150	5.02 ± 0.02 <sup>b</sup>
	250	4.89 ± 0.02 <sup>a</sup>
	350	5.93 ± 0.05 <sup>c</sup>
50	150	3.57 ± 0.03 <sup>a</sup>
	250	3.64 ± 0.02 <sup>b</sup>
	350	4.85 ± 0.04 <sup>c</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.7 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 40:60

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Moisture content (% d.b.)
30	150	3.84 ± 0.04 <sup>a</sup>
	250	3.99 ± 0.02 <sup>b</sup>
	350	4.19 ± 0.02 <sup>c</sup>
40	150	3.55 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	4.59 ± 0.04 <sup>b</sup>
	350	4.82 ± 0.02 <sup>c</sup>
50	150	3.40 ± 0.03 <sup>a</sup>
	250	3.73 ± 0.05 <sup>b</sup>
	350	4.36 ± 0.06 <sup>c</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 50:50

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Moisture content (% d.b.)
30	150	3.40 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	3.75 ± 0.03 <sup>b</sup>
	350	4.32 ± 0.02 <sup>c</sup>
40	150	3.59 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	4.55 ± 0.04 <sup>b</sup>
	350	5.19 ± 0.12 <sup>c</sup>
50	150	3.38 ± 0.04 <sup>b</sup>
	250	3.26 ± 0.02 <sup>a</sup>
	350	4.25 ± 0.04 <sup>c</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 60:40

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Moisture content (% d.b.)
30	150	3.20 ± 0.01 <sup>a</sup>
	250	3.67 ± 0.03 <sup>c</sup>
	350	3.48 ± 0.01 <sup>b</sup>
40	150	2.97 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	3.81 ± 0.00 <sup>c</sup>
	350	3.47 ± 0.03 <sup>b</sup>
50	150	2.82 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	2.88 ± 0.02 <sup>b</sup>
	350	3.55 ± 0.02 <sup>c</sup>

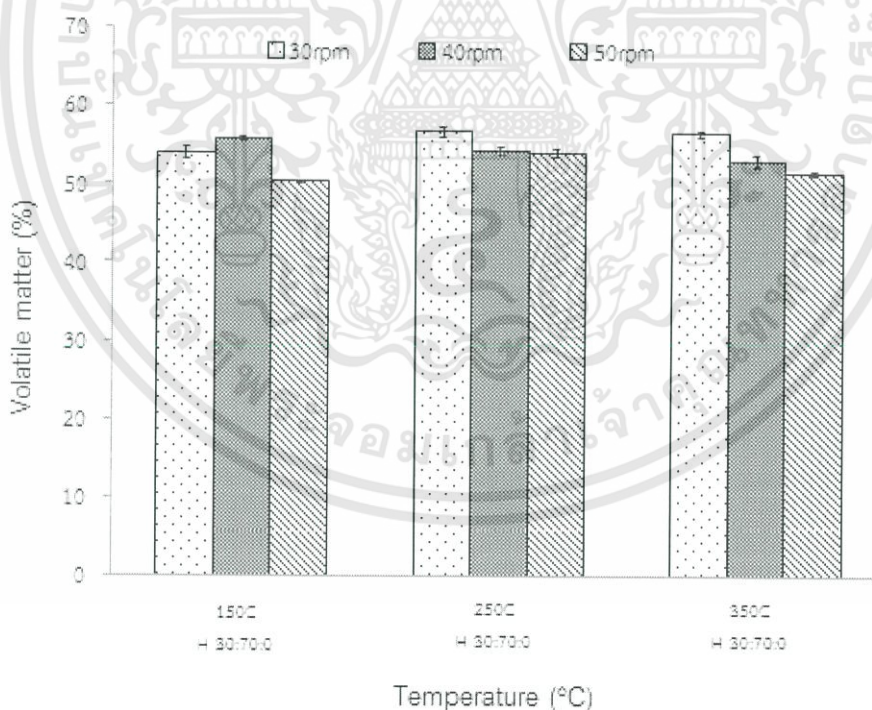
ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.10 ปริมาณความชื้นของแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Moisture content (% d.b.)
30	150	3.66 ± 0.04 <sup>c</sup>
	250	3.31 ± 0.02 <sup>b</sup>
	350	2.83 ± 0.01 <sup>a</sup>
40	150	3.02 ± 0.02 <sup>a</sup>
	250	3.96 ± 0.04 <sup>c</sup>
	350	3.17 ± 0.01 <sup>b</sup>
50	150	2.93 ± 0.04 <sup>a</sup>
	250	3.32 ± 0.04 <sup>c</sup>
	350	3.23 ± 0.01 <sup>b</sup>

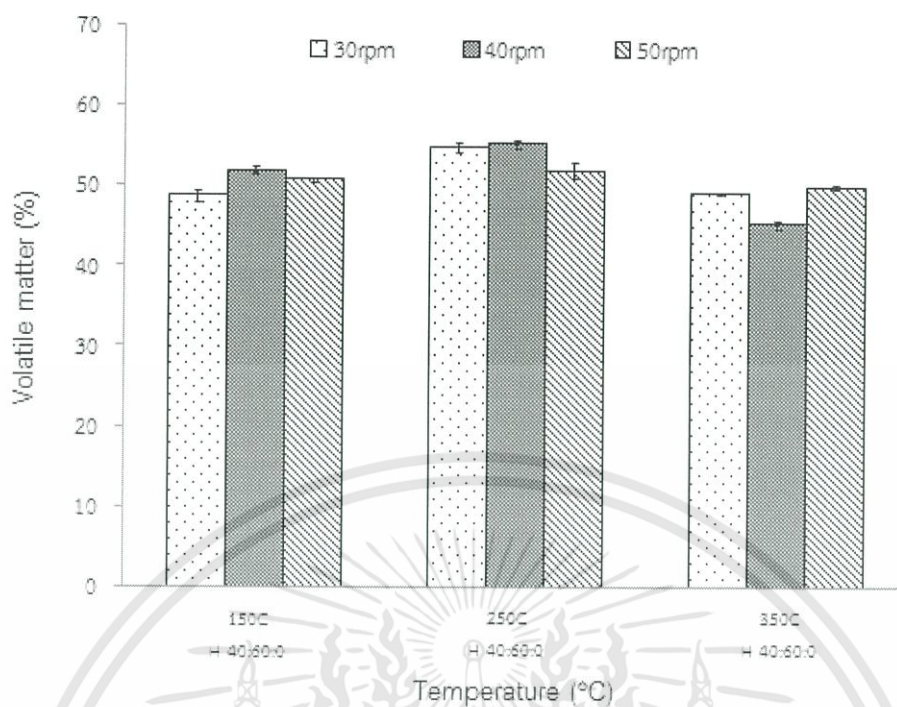
ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)

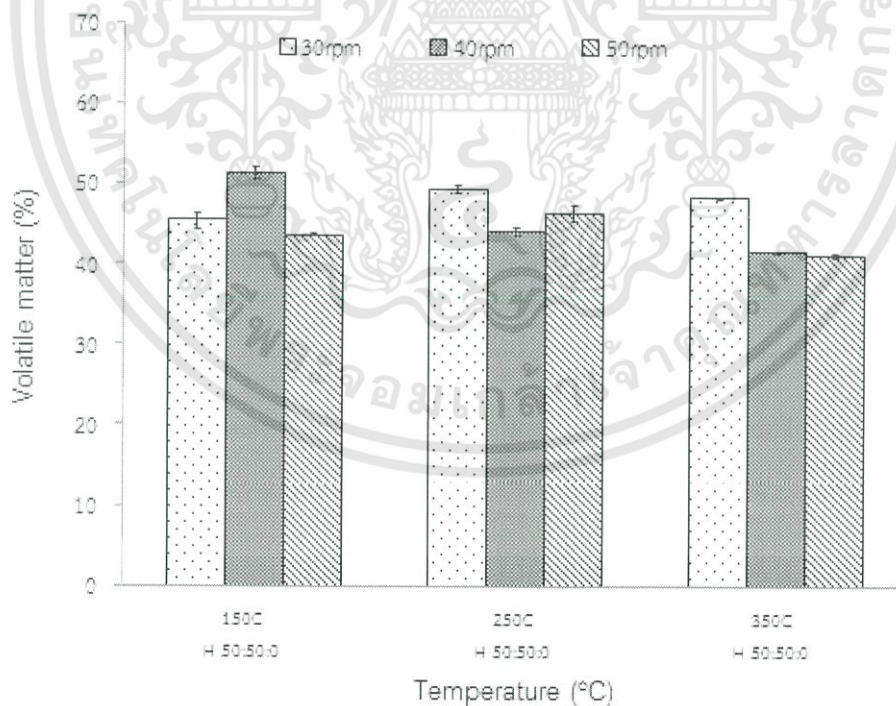


ภาพที่ 4.13 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

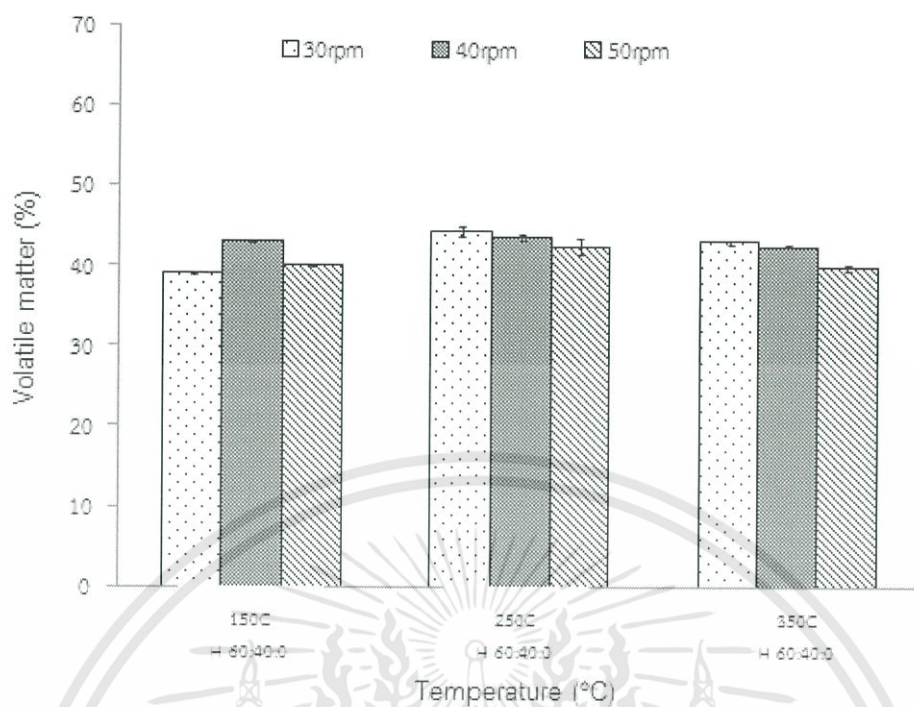


ภาพที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 40:60

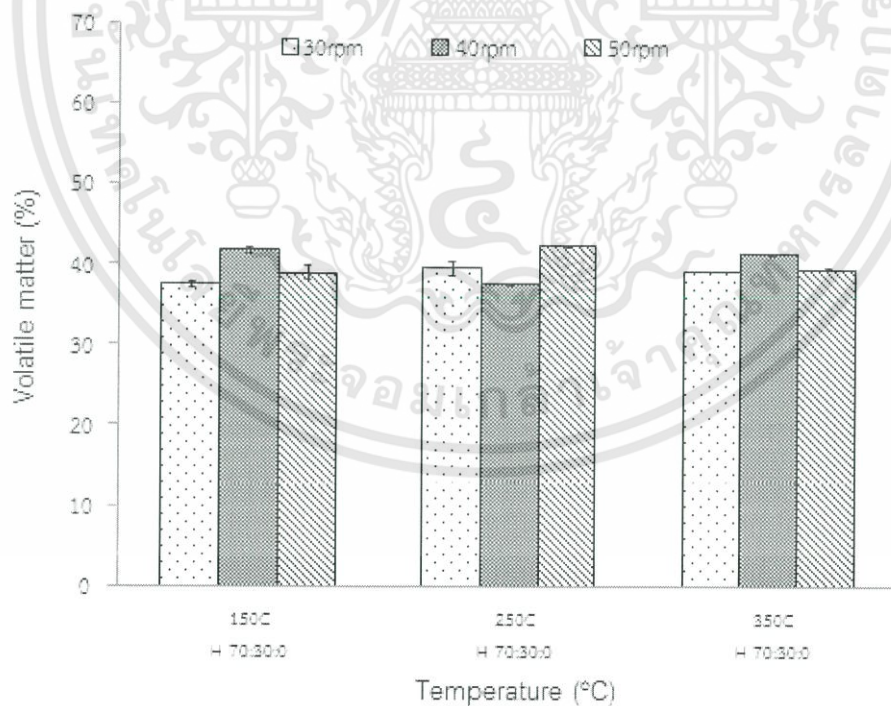


ภาพที่ 4.15 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลทรายปาล์มเปล่า 60:40



ภาพที่ 4.17 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลทรายปาล์มเปล่า 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินฟอสเฟตและทะเลสาบปาล์มเปล้าก่อนนำมาผสมและอัดแท่งมีปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 35.15 และ 76.27% ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณสารระเหยของทะเลสาบปาล์มเปล้าที่รายงานโดย นคร [34] และ ฐานิตย์และคณะ [29] ซึ่งมีปริมาณสารระเหยในทะเลสาบปาล์มเปล้าประมาณ 65-71.9% หลังการอัดแท่ง เชื้อเพลิงมีปริมาณสารระเหยดังแสดงในภาพที่ 4.13 ถึง 4.17 โดยมีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 50.18-56.53% 45.12-55.11% 41.04-51.30% 38.86-44.20% และ 37.45-42.17% ที่อัตราส่วนผสมดินฟอสเฟตและทะเลสาบปาล์มเปล้า 30:70 40:60 50:50 60:40 และ 70:30 ตามลำดับ ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ได้รับมาจากทะเลสาบปาล์มเปล้า เนื่องจากในทะเลสาบปาล์มเปล้ามีองค์ประกอบของสารจำพวกโพแทสเซียม คลอรีน และซัลเฟอร์ เมื่อนำมาเผาไหม้สารเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปสารระเหย [29] ซึ่งปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงลดลงตามปริมาณส่วนผสมของทะเลสาบปาล์มที่ลดลง อย่างไรก็ตามสารระเหยมีปริมาณที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่น เช่น แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากเศษฟางข้าวและเศษลำไยเหลือทิ้งมีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 82.84-87.16% [35] และแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากเศษไม้ไผ่และเศษลำไยเหลือทิ้งมีปริมาณสารระเหยประมาณ 88.34% [36] เป็นต้น นอกจากนี้ในภาพที่ 4.13 ถึง 4.17 ยังแสดงผลกระทบของความเร็วรอบในการอัดต่อปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าปริมาณสารระเหยแปรปรวนไม่ขึ้นกับความเร็วรอบของการอัด ยกเว้นอัตราส่วนผสมดินฟอสเฟตและทะเลสาบปาล์มเปล้าที่ 30:70 (ที่อุณหภูมิการอัด 250 และ 350°C) 40:60 (ที่อุณหภูมิการอัด 250°C) 50:50 (ที่อุณหภูมิการอัด 350°C) และ 60:40 (ที่อุณหภูมิการอัด 350°C) ซึ่งปริมาณสารระเหยมีแนวโน้มลดลงตามความเร็วรอบการอัดที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากการศึกษานี้ส่วนใหญ่อยู่ในระดับกลางไปจนถึงระดับต่ำ แม้ว่าสารระเหยเหล่านี้จะช่วยเพิ่มค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง แต่องค์ประกอบของสารในสารระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาการเกาะตัวกับชุดอุปกรณ์หรือผนังห้องเผาไหม้ได้ เช่น โพแทสเซียมและคลอรีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสารระเหยที่มีอยู่ในทะเลสาบปาล์มเปล้า ดังนั้นการนำแท่งเชื้อเพลิงไปใช้จึงต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบของสารที่อยู่ในสารระเหยด้วย

**ตารางที่ 4.11** ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอสเฟตกับทะเลสาบปาล์มเปล้า 30:70

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Volatile matter (%)
30	150	53.88 ± 0.81 <sup>a</sup>
	250	56.53 ± 0.71 <sup>b</sup>
	350	56.32 ± 0.37 <sup>b</sup>
40	150	55.64 ± 0.36 <sup>c</sup>
	250	54.12 ± 0.48 <sup>b</sup>
	350	52.89 ± 0.70 <sup>a</sup>
50	150	50.18 ± 0.19 <sup>a</sup>
	250	53.83 ± 0.49 <sup>c</sup>
	350	51.30 ± 0.32 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 40:60

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Volatile matter (%)
30	150	48.62 ± 0.70 <sup>a</sup>
	250	54.59 ± 0.62 <sup>b</sup>
	350	48.92 ± 0.15 <sup>a</sup>
40	150	51.75 ± 0.54 <sup>b</sup>
	250	55.11 ± 0.51 <sup>c</sup>
	350	45.12 ± 0.52 <sup>a</sup>
50	150	50.60 ± 0.26 <sup>ab</sup>
	250	51.72 ± 0.95 <sup>b</sup>
	350	49.76 ± 0.21 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.13 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 50:50

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Volatile matter (%)
30	150	45.36 ± 0.95 <sup>a</sup>
	250	49.30 ± 0.54 <sup>b</sup>
	350	48.21 ± 0.19 <sup>b</sup>
40	150	51.30 ± 0.71 <sup>c</sup>
	250	44.02 ± 0.58 <sup>b</sup>
	350	41.40 ± 0.09 <sup>a</sup>
50	150	43.57 ± 0.14 <sup>b</sup>
	250	46.23 ± 0.93 <sup>c</sup>
	350	41.04 ± 0.34 <sup>d</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.14 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 60:40

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Volatile matter (%)
30	150	38.86 ± 0.13 <sup>a</sup>
	250	44.20 ± 0.55 <sup>c</sup>
	350	42.84 ± 0.22 <sup>b</sup>
40	150	42.93 ± 0.19 <sup>b</sup>
	250	43.37 ± 0.38 <sup>b</sup>
	350	42.32 ± 0.14 <sup>a</sup>
50	150	39.95 ± 0.06 <sup>a</sup>
	250	42.31 ± 0.93 <sup>b</sup>
	350	39.77 ± 0.38 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.15 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

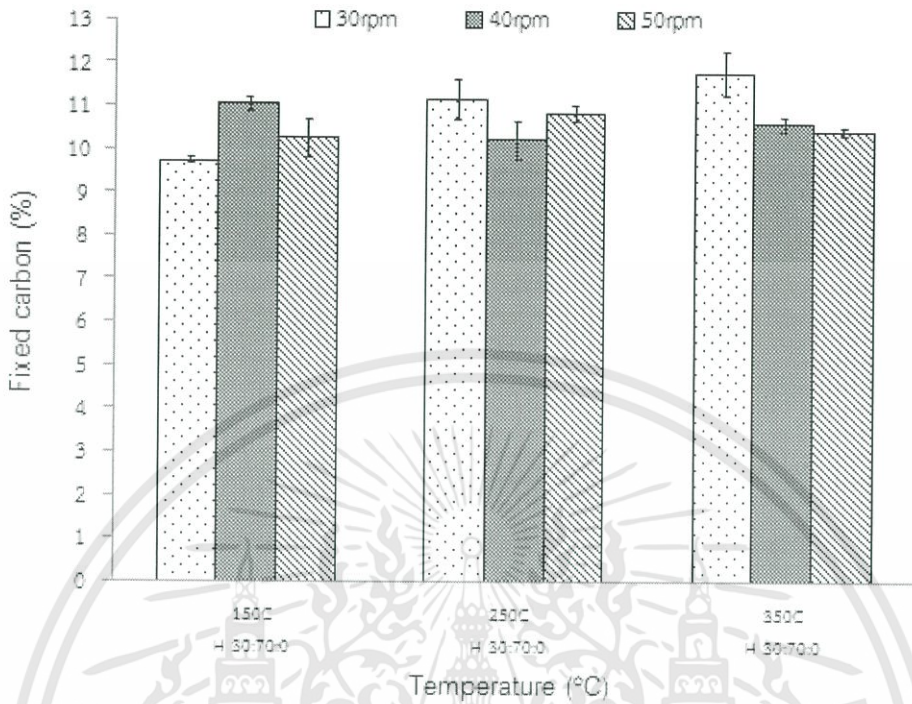
Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Volatile matter (%)
30	150	37.45 ± 0.40 <sup>a</sup>
	250	39.43 ± 0.88 <sup>b</sup>
	350	39.05 ± 0.11 <sup>b</sup>
40	150	41.63 ± 0.35 <sup>c</sup>
	250	37.55 ± 0.12 <sup>a</sup>
	350	41.13 ± 0.06 <sup>b</sup>
50	150	38.83 ± 0.86 <sup>a</sup>
	250	42.17 ± 0.24 <sup>b</sup>
	350	39.32 ± 0.12 <sup>d</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

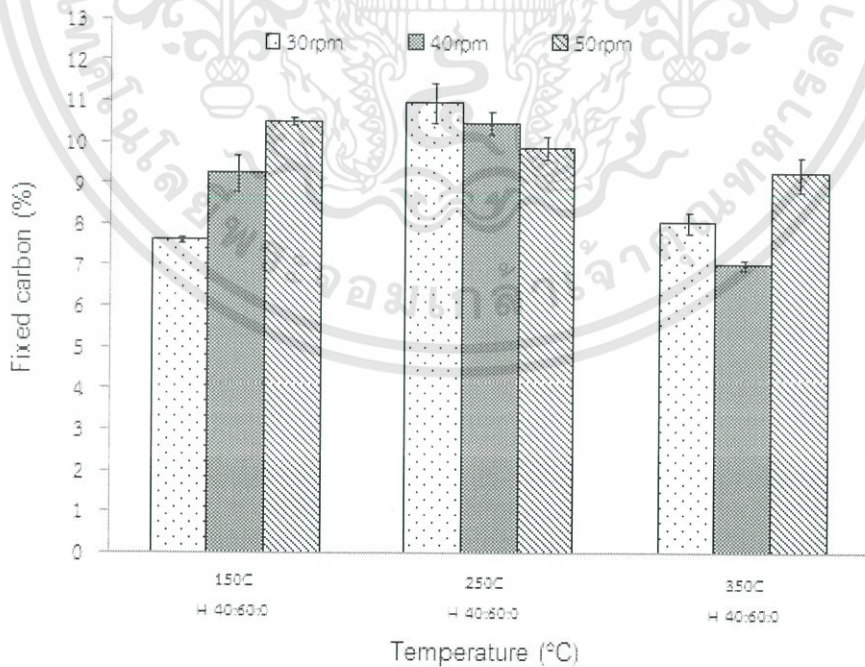
ตารางที่ 4.11 ถึง 4.15 แสดงปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงไม่มีแวนโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการอัดในช่วง 150-350°C ดังจะเห็นได้จากบางเงื่อนไขมีปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มอุณหภูมิการอัด (ที่อัตราส่วน 30:70 ความเร็วรอบการอัด 30 rpm) บางเงื่อนไขมีปริมาณสารระเหยลดลงกับการเพิ่มอุณหภูมิการอัด (ที่อัตราส่วน 50:50 ความเร็วรอบการอัด 40 rpm) และบางเงื่อนไขมีปริมาณสารระเหยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการอัด (ที่อัตราส่วน 40:60 ความเร็วรอบการอัด 50 rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon)

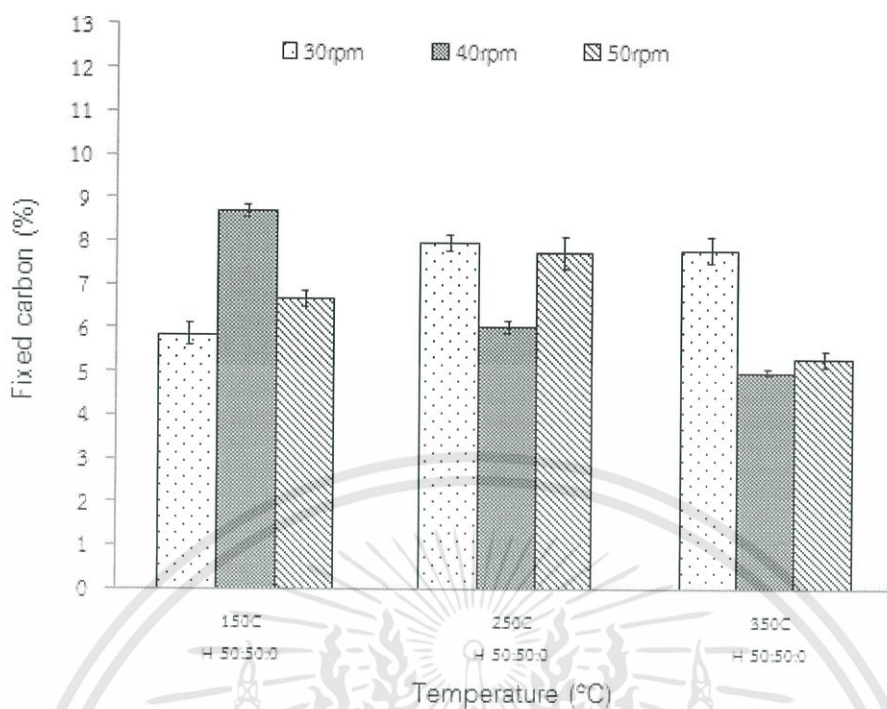


ภาพที่ 4.18 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 30:70

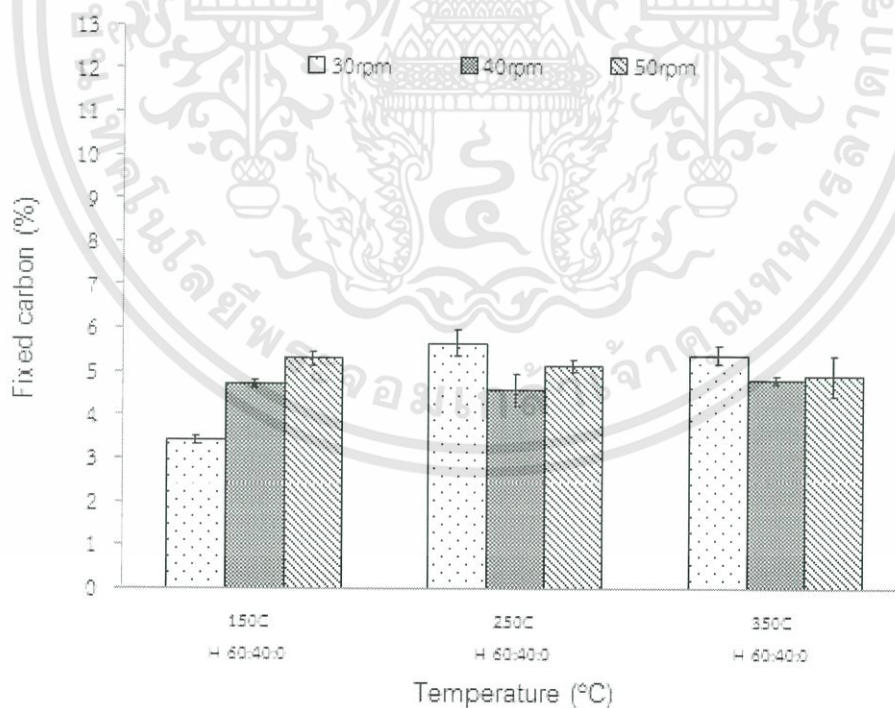


ภาพที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 40:60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

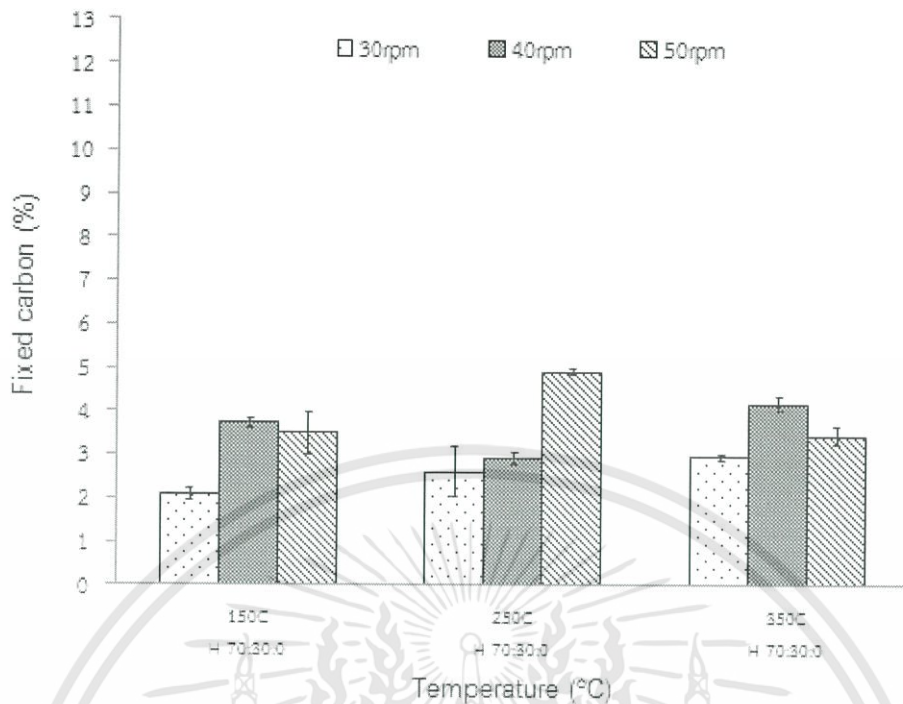


ภาพที่ 4.20 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 50:50



ภาพที่ 4.21 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 60:40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.22 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

ดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่าก่อนนำมาผสมและอัดแท่งมีปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย 0.42 และ 17.72% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวในทะเลสาบปาล์มเปล่ามีค่าใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนคงตัวในทะเลสาบปาล์มเปล่าของ นคร [34] ที่มีค่าประมาณ 16.7% และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณคาร์บอนคงตัวในชีวมวลชนิดอื่นๆที่นำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น เปลือกข้าวมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 11.5% ช้างข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 16.9% ฟางข้าวมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 0.65% และเศษลำไยเหลือทิ้งมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 0.17% เป็นต้น [34,35] จากผลปริมาณคาร์บอนคงตัวดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่แตกต่างจากชีวมวลที่นำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเฉพาะทะเลสาบปาล์มเปล่าที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวค่อนข้างสูง ซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถเผาไหม้ได้นาน [8]

หลังจากนำดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่ามาอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวดังแสดงในภาพที่ 4.18 ถึง 4.22 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของแท่งเชื้อเพลิงลดลงตามสัดส่วนของทะเลสาบปาล์มเปล่าที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนคงตัวของทะเลสาบปาล์มเปล่าก่อนนำมาอัดแท่งที่มีปริมาณมากกว่าในดินฟอกสี ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวในเชื้อเพลิงที่ผ่านการอัดแท่งขึ้นรูปขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมของทะเลสาบปาล์มเปล่า โดยปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงมีค่ามากที่สุดในช่วง 9.71-11.74% ที่อัตราส่วน 30:70 และปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าน้อยที่สุดในช่วง 2.08-4.91% ที่อัตราส่วน 70:30

จากภาพที่ 4.18 ถึง 4.22 แสดงผลกระทบของความเร็วรอบในการอัดต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของการอัดที่เพิ่มขึ้น เฉพาะที่อัตราส่วนผสมดินฟอกสีและทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30 ที่อัตราส่วนผสมอื่นปริมาณคาร์บอนคงตัวมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนและไม่ขึ้นกับความเร็วยรอบการอัด ในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการอัดไม่มีผลกระทบต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวดังแสดงในตารางที่ 4.16 ถึง 4.20 อย่างไรก็ตามแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนผสม อุณหภูมิการอัด และความเร็วยรอบการอัดในการศึกษานี้มีปริมาณคาร์บอนคงตัวในปริมาณที่ต่ำ (สูงสุดเพียงแค่ 11.74%) ซึ่งในเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่น้อยกว่า 15% เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถถูกไหม้ได้อย่างยาวนาน [8]

**ตารางที่ 4.16** ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์ม เปล่า 30:70

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Fixed carbon (%)
30	150	9.71 ± 0.07 <sup>a</sup>
	250	11.13 ± 0.46 <sup>b</sup>
	350	11.74 ± 0.52 <sup>b</sup>
40	150	11.03 ± 0.18 <sup>b</sup>
	250	10.20 ± 0.44 <sup>a</sup>
	350	10.56 ± 0.16 <sup>ab</sup>
50	150	10.24 ± 0.44 <sup>a</sup>
	250	10.82 ± 0.18 <sup>a</sup>
	350	10.39 ± 0.10 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

**ตารางที่ 4.17** ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์ม เปล่า 40:60

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Fixed carbon (%)
30	150	7.60 ± 0.06 <sup>a</sup>
	250	10.94 ± 0.47 <sup>b</sup>
	350	8.01 ± 0.27 <sup>a</sup>
40	150	9.22 ± 0.44 <sup>b</sup>
	250	10.43 ± 0.29 <sup>c</sup>
	350	7.00 ± 0.12 <sup>a</sup>
50	150	10.49 ± 0.08 <sup>c</sup>
	250	9.85 ± 0.26 <sup>b</sup>
	350	9.21 ± 0.41 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์ม เปล่า 50:50

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Fixed carbon (%)
30	150	5.86 ± 0.24 <sup>a</sup>
	250	7.95 ± 0.18 <sup>b</sup>
	350	7.79 ± 0.31 <sup>b</sup>
40	150	8.70 ± 0.12 <sup>c</sup>
	250	6.02 ± 0.16 <sup>b</sup>
	350	4.98 ± 0.08 <sup>a</sup>
50	150	6.67 ± 0.18 <sup>b</sup>
	250	7.74 ± 0.37 <sup>c</sup>
	350	5.29 ± 0.19 <sup>a</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.19 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์ม เปล่า 60:40

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Fixed carbon (%)
30	150	3.41 ± 0.08 <sup>a</sup>
	250	5.64 ± 0.30 <sup>b</sup>
	350	5.36 ± 0.21 <sup>b</sup>
40	150	4.70 ± 0.09 <sup>a</sup>
	250	4.57 ± 0.38 <sup>a</sup>
	350	4.80 ± 0.08 <sup>a</sup>
50	150	5.28 ± 0.16 <sup>a</sup>
	250	5.10 ± 0.14 <sup>a</sup>
	350	4.89 ± 0.45 <sup>a</sup>

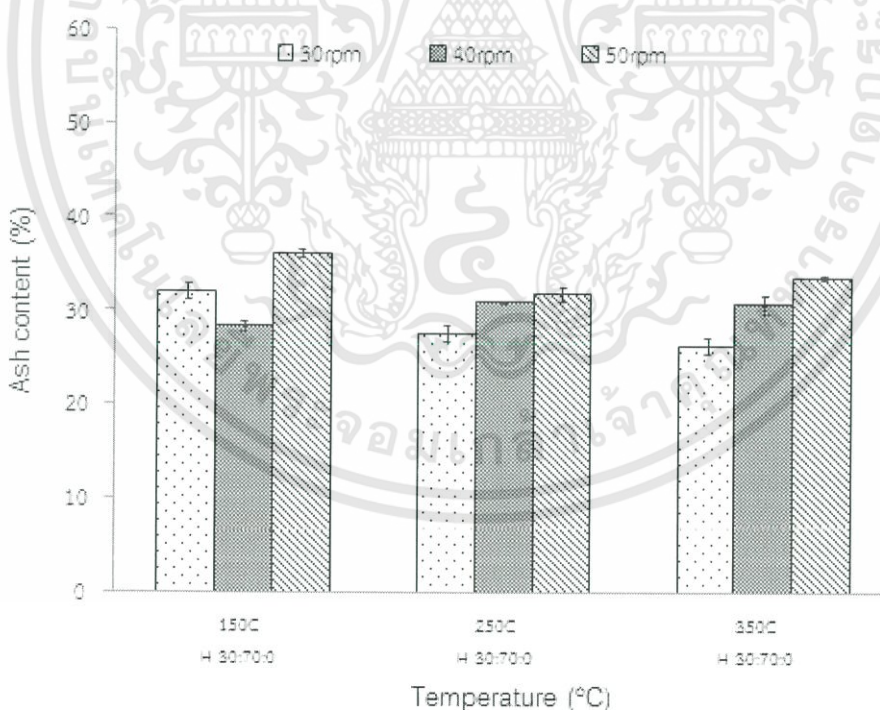
ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.20 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Fixed carbon (%)
30	150	2.08 ± 0.15 <sup>a</sup>
	250	2.61 ± 0.58 <sup>ab</sup>
	350	2.94 ± 0.07 <sup>b</sup>
40	150	3.72 ± 0.12 <sup>b</sup>
	250	2.93 ± 0.14 <sup>a</sup>
	350	4.18 ± 0.14 <sup>c</sup>
50	150	3.49 ± 0.48 <sup>a</sup>
	250	4.91 ± 0.06 <sup>b</sup>
	350	3.44 ± 0.19 <sup>a</sup>

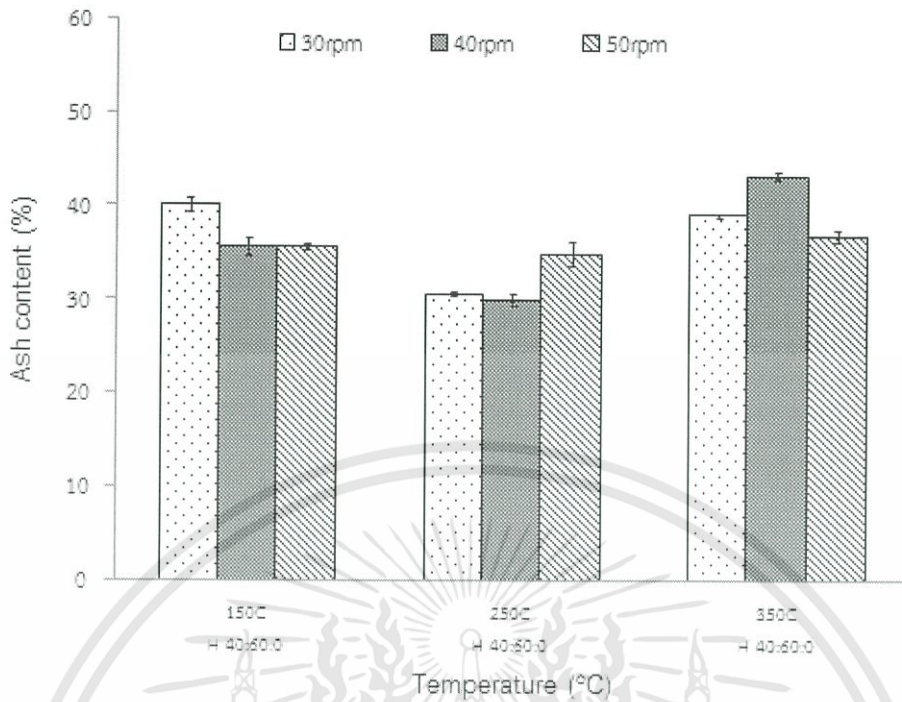
ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.5 ปริมาณเถ้า (Ash content)

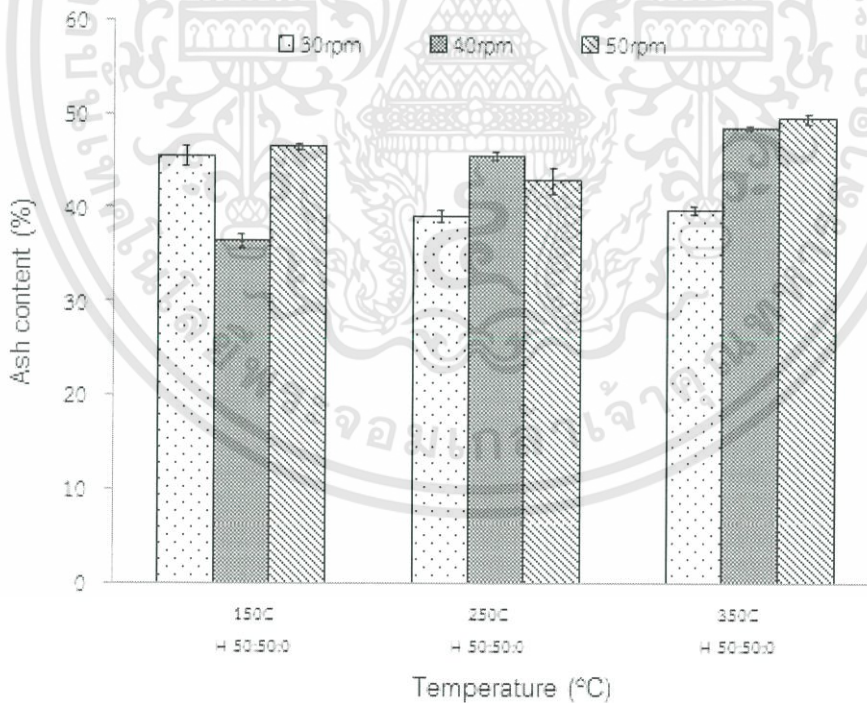


ภาพที่ 4.23 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 30:70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

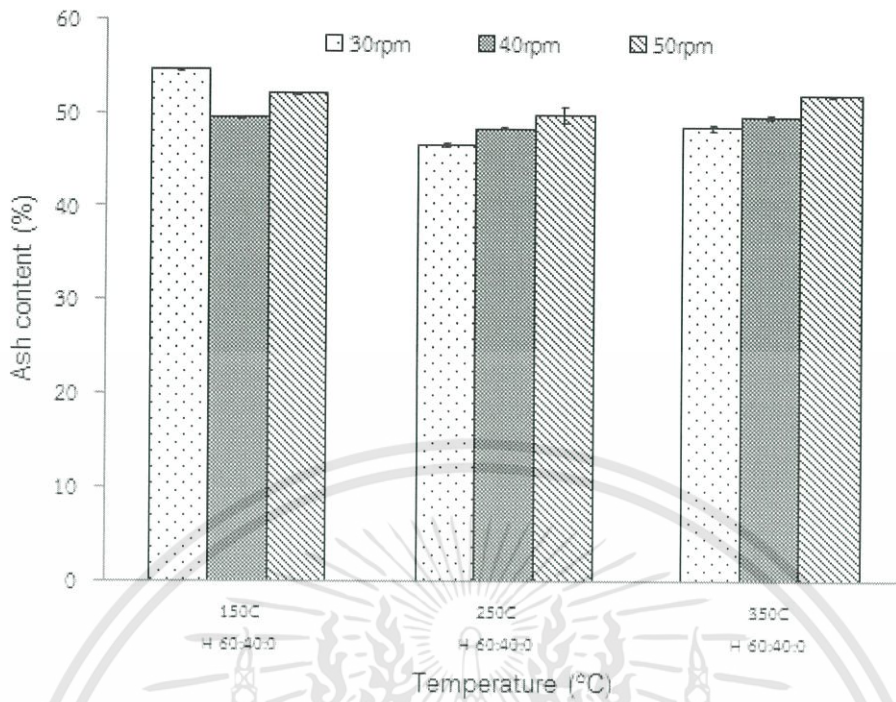


ภาพที่ 4.24 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลทรายปาล์มเปล่า 40:60

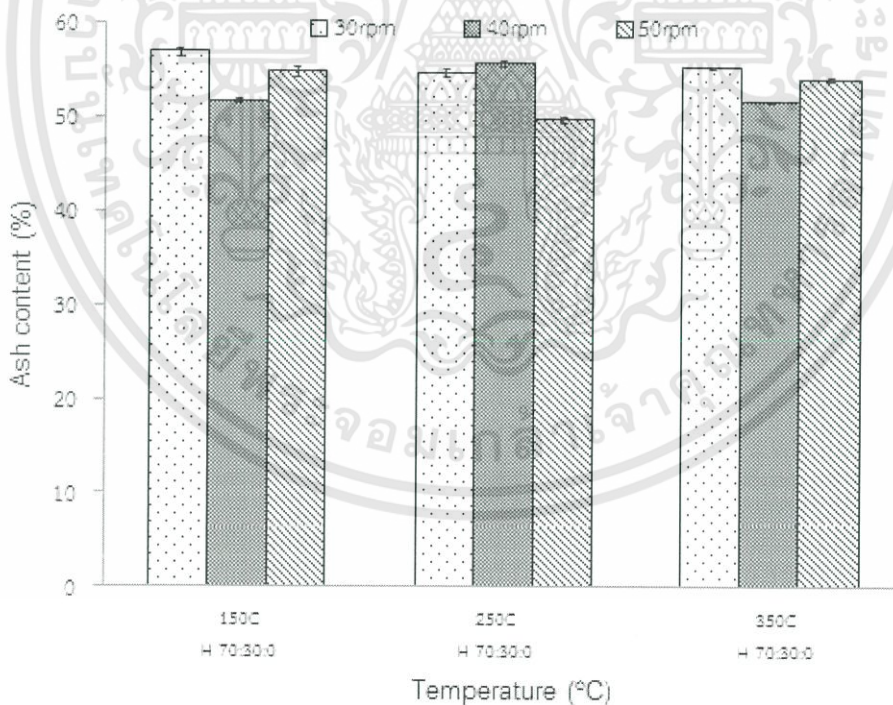


ภาพที่ 4.25 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลทรายปาล์มเปล่า 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.26 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลาะปาล์มเปล่า 60:40



ภาพที่ 4.27 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลาะปาล์มเปล่า 70:30

ดินฟอกสีและทะเลาะปาล์มเปล่าก่อนนำมาผสมและอัดแท่งมีปริมาณเถ้าเฉลี่ย 64.43 และ 6.01% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเถ้าในงานวิจัยอื่นๆ เช่น ดินฟอกสีมีปริมาณเถ้า 58.6% เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะลายปาล์มเปล่ามีปริมาณเถ้า 7.1% เปลือกข้าวมีปริมาณเถ้า 21.5% ชังข้าวโพดมีปริมาณเถ้า 0.9% ฟางข้าวมีปริมาณเถ้า 22.16% และเศษลำไยเหลือทิ้งมีปริมาณเถ้า 3.42% เป็นต้น [13,29,34,35] จากผลดังกล่าวข้างต้นเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าในทะลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีในการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับในงานวิจัยอื่น แต่ดินฟอกสีมีปริมาณเถ้าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นๆ อาจจะเป็นผลเนื่องมาจากดินฟอกสีเป็นแร่ดินเหนียวชนิดมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารที่เผาไหม้ได้ยาก ได้แก่ ออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น [37] ดังนั้นปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของดินฟอกสี โดยดินฟอกสีหลังการเผาไหม้ให้ปริมาณเถ้ามากกว่าทะลายปาล์มเปล่าประมาณ 10 เท่า ส่งผลให้ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของดินฟอกสีที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.23 ถึง 4.27 โดยมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 26.19-36% 29.86-43.06% 36.40-49.42% 46.49-54.53% และ 49.60-56.81% ที่อัตราส่วนผสมดินฟอกสีและทะลายปาล์มเปล่า 30:70 40:60 50:50 60:40 และ 70:30 ตามลำดับ [29]

จากภาพที่ 4.23 ถึง 4.27 แสดงผลกระทบของความเร็วรอบในการอัดต่อปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วรอบการอัด ในทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการอัดไม่มีผลกระทบต่อปริมาณเถ้าดังแสดงในตารางที่ 4.21 ถึง 4.25 อย่างไรก็ตามแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตภายใต้เงื่อนไขอัตราส่วนผสม อุณหภูมิการอัด และความเร็วรอบการอัดในการศึกษานี้มีปริมาณเถ้าในปริมาณที่สูง โดยปริมาณเถ้าต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70 มีปริมาณเถ้าสูงถึง 26.19% ซึ่งในเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 20% เพื่อให้เชื้อเพลิงสามารถเผาไหม้ได้มากที่สุด และช่วยลดปัญหาในการจัดการกับเถ้าที่เกิดขึ้น [8]

ตารางที่ 4.21 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะลายปาล์มเปล่า 30:70

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Ash content (%)
30	150	31.93 ± 0.86 <sup>b</sup>
	250	27.51 ± 0.78 <sup>a</sup>
	350	26.19 ± 0.89 <sup>a</sup>
40	150	28.31 ± 0.51 <sup>a</sup>
	250	30.79 ± 0.10 <sup>b</sup>
	350	30.61 ± 0.88 <sup>b</sup>
50	150	36.00 ± 0.46 <sup>c</sup>
	250	31.70 ± 0.68 <sup>a</sup>
	350	33.45 ± 0.26 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.22 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 40:60

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Ash content (%)
30	150	39.93 ± 0.75 <sup>c</sup>
	250	30.49 ± 0.19 <sup>a</sup>
	350	38.88 ± 0.24 <sup>b</sup>
40	150	35.48 ± 0.98 <sup>b</sup>
	250	29.86 ± 0.64 <sup>a</sup>
	350	43.06 ± 0.43 <sup>c</sup>
50	150	35.51 ± 0.37 <sup>ab</sup>
	250	34.71 ± 1.26 <sup>a</sup>
	350	36.66 ± 0.67 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.23 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 50:50

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Ash content (%)
30	150	45.38 ± 1.08 <sup>b</sup>
	250	39.00 ± 0.71 <sup>a</sup>
	350	39.69 ± 0.47 <sup>a</sup>
40	150	36.40 ± 0.74 <sup>a</sup>
	250	45.40 ± 0.47 <sup>b</sup>
	350	48.43 ± 0.21 <sup>c</sup>
50	150	46.39 ± 0.32 <sup>b</sup>
	250	42.77 ± 1.31 <sup>a</sup>
	350	49.42 ± 0.57 <sup>c</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 60:40

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Ash content (%)
30	150	54.53 ± 0.06 <sup>c</sup>
	250	46.49 ± 0.30 <sup>a</sup>
	350	48.32 ± 0.31 <sup>b</sup>
40	150	49.41 ± 0.11 <sup>b</sup>
	250	48.25 ± 0.10 <sup>a</sup>
	350	49.41 ± 0.24 <sup>b</sup>
50	150	51.95 ± 0.08 <sup>b</sup>
	250	49.70 ± 0.90 <sup>a</sup>
	350	51.79 ± 0.12 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.25 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลสาบปาล์มเปล่า 70:30

Revolution speed (rpm)	Compression temperature (°C)	Ash content (%)
30	150	56.81 ± 0.40 <sup>b</sup>
	250	54.65 ± 0.36 <sup>a</sup>
	350	55.18 ± 0.16 <sup>a</sup>
40	150	51.63 ± 0.24 <sup>a</sup>
	250	55.56 ± 0.28 <sup>b</sup>
	350	51.52 ± 0.14 <sup>a</sup>
50	150	54.75 ± 0.45 <sup>c</sup>
	250	49.60 ± 0.30 <sup>a</sup>
	350	54.02 ± 0.28 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแนวคอลัมน์ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3 ผลกระทบของความเร็รรอบในการอัดต่ออัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.26 อัตราการอัดแท่งเชื้อเพลิง

Revolution speed (rpm)	Length rate (cm/min)	Production rate (piece/h)
30	56.45	338
40	59.2	355
50	65.2	391

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.28 แท่งเชื้อเพลิง

ส่วนผสมของดินฟอกสีและทะเลายปาล์มเปล่าถูกอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ยาว 10 cm (ดังแสดงในภาพที่ 4.28) โดยใช้ความเร็วรอบในการอัด 30 40 และ 50 rpm ซึ่งที่แต่ละความเร็วรอบในการอัดมีอัตราความยาวของแท่งเชื้อเพลิงและอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงดังแสดงใน ตารางที่ 4.26 อัตราความยาวของแท่งเชื้อเพลิงและอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบในการอัดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ที่ความเร็วรอบในการอัดสูงสุด 50 rpm มีอัตราความยาวของแท่งเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 65.2 cm/min และมีอัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 391 piece/h

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะเลลายปาล์มเปล่าและดินฟอกสีเหลืองทั้งภายใต้เงื่อนไขการศึกษาที่ใช้น้ำขนาดทะเลลายเปล่า 2 ขนาด ได้แก่ 1 และ 5 cm ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินฟอกสีกับทะเลลายปาล์มเปล่า 5 อัตราส่วนคือ 30:70 40:60 50:50 60:40 และ 70:30 ใช้ความเร็วรอบในการอัด 30 40 และ 50 rpm และใช้อุณหภูมิการอัด 150 250 และ 350°C ได้ผลการศึกษาโดยสรุปดังนี้

- ไม่ควรใช้ทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเท่ากับ 5 cm ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลภายใต้เงื่อนไขการศึกษานี้ เนื่องจากขนาดของทะเลลายปาล์มเปล่าที่ใหญ่เกินไป ทำให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงออกมาได้

แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากทะเลลายปาล์มขนาด 1 cm และนำมาผสมกับดินฟอกสีในอัตราส่วนที่กำหนด พร้อมทั้งอัดขึ้นรูปภายใต้ความเร็วรอบและอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ได้ผลการศึกษาโดยสรุปดังนี้

- เชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (ค่าความร้อนควรมากกว่า 3,000 Cal/g) โดยเฉพาะเมื่อใช้ส่วนผสมของทะเลลายปาล์มตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ยกเว้นในบางส่วนผสม บางความเร็วรอบ และบางอุณหภูมิการอัดที่ให้ค่าความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์ความเร็วรอบและอุณหภูมิการอัดส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนในบางเงื่อนไขในการศึกษา

- เชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณความชื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (ปริมาณความชื้นควรต่ำกว่า 10% d.b.) ปริมาณความชื้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างชัดเจนกับความเร็วรอบและอุณหภูมิในการอัด

- เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ในทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณสารระเหยอยู่ในระดับกลางถึงระดับต่ำ (มีปริมาณสารระเหยในช่วง 37-56%) ปริมาณสารระเหยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างชัดเจนกับความเร็วรอบและอุณหภูมิในการอัด

- เชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (ปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่ควรต่ำกว่า 15%) ปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างชัดเจนกับความเร็วรอบและอุณหภูมิในการอัด

- เชื้อเพลิงอัดแท่งในทุกอัตราส่วนผสมมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (ปริมาณเถ้าไม่ควรสูงกว่า 20%) ปริมาณเถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์อย่างชัดเจนกับความเร็วรอบและอุณหภูมิในการอัด

- ช่วงความเร็วรอบการอัด 30-50 rpm ให้อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิง 338-391 piece/h

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ถ้าต้องการใช้น้ำขนาดของทะเลลายปาล์มตั้งแต่ 5 cm ขึ้นไปควรใช้ความเร็วรอบในการอัดที่สูงกว่าที่ใช้ในการศึกษานี้ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความแข็งหรือความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจะได้รับผลกระทบจากความเร็วรอบและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด

#### 5.3 ผลผลิตงานวิจัย

- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559 “ศักยภาพชีวมวลในประเทศ” [online], กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, แหล่งที่เข้าถึง: [http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html) [10 เมษายน 2559]
- [2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2545 “การส่งเสริมการใช้พลังงานจากชีวมวลของประเทศไทย” [online], วารสารนโยบายพลังงาน ฉบับที่ 55, แหล่งที่เข้าถึง: <http://www2.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html> [10 พฤศจิกายน 2559]
- [3] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2542 “พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย” [online], สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.eppo.go.th/doc/doc-AlterFuel.html> [10 เมษายน 2559]
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554 “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 4 (พลังงานชีวมวล)” [online], กระทรวงพลังงาน, แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.dede.go.th/main.php?filename=index> [11 เมษายน 2559]
- [5] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2553 “พลังงานจากชีวมวล”, สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [6] K. Laohalidanond, “The production of synthetic diesel from biomass” Journal of Natural Sciences, Chiang Mai University, 127-139 (2007).
- [7] A.B.M.S. Hossain, A. Salleh, A.N. Boyce, P. Chowdhury and M. Naqiuddin, “Biodiesel fuel production from algae as renewable energy” American Journal of Biochemistry Biotechnology, 250-254 (2008).
- [8] สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม, 2554 “คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน”, กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- [9] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, 2559 “การออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร” [online], สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, แหล่งที่เข้าถึง: [http://eng.sut.ac.th/ae/engsut/sites/default/files/AMD8\\_Belt.pdf](http://eng.sut.ac.th/ae/engsut/sites/default/files/AMD8_Belt.pdf) [20 เมษายน 2559]
- [10] พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, 2559 “การออกแบบเครื่องจักรกลเกษตร: การออกแบบเพลลา”, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [11] บริษัทไออีเอสฮีตเตอร์, 2556 “ฮีตเตอร์รัดท่อ” [online], แหล่งที่เข้าถึง: <http://www.heater-heater.com/14395426/%E0%B8%AE%E0%B8%B5%E0%B8%95%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B9%88%E0%B8%AD> [20 เมษายน 2559]
- [12] สาวิตรี จันทรานุกรักษ์ และ ธารพงษ์ วิทิตตานต์, 2545 “การผลิตถ่านแท่งจากทะเลสาบปาล์ม”, วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์, ปีที่ 1, 135-152.
- [13] A. Suhartini, A. Hidayat and B. Wijaya, “Physical properties characterization of fuel briquette made from spent bleaching earth” Biomass and Bioenergy, 4209-4214 (2011).
- [14] กษิรา โสภณพงษ์, นิภารัตน์ มีวรรณะ, พีระพงษ์ เลิศเมธา และมนต์ทิพย์ ช่างของ, 2549 “การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำสารฟอกสีใช้แล้วของอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มกลับไปใช้ประโยชน์ในลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอิฐ ดิน ปูนซีเมนต์ และเชื้อเพลิงอัดแท่ง”, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน.

[15] R.N. Singh, P.R. Bhoi and S.R. Patel, “Modification of commercial briquetting machine to produce 35 mm diameter briquettes suitable for gasification and combustion” *Renewable Energy*, 474–479 (2007).

[16] อุกฤษฏ์ สหพัฒน์สมบัติ, ปานชีวา อุดมทรัพย์, เอกรัตน์ ไวยนิตย์ และธนกร ตันธนวัฒน์, 2551 “การศึกษาสภาวะเบื้องต้นถึงคุณภาพของชีวมวลสำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง”, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี.

[17] ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และภูมิพัฒน์ ภาชนะ, 2558 “การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์”, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัยระดับชาติและนานาชาติ, ครั้งที่ 6, 28-29 เมษายน, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

[18] ธนาพล ตันติสตัยกุล, กะขามาศ สายดำ, สุจิตรา ภู่งสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์, 2558 “การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับประรด”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 23, 754-773.

[19] เกรียงไกร วงศาโรจน์, ธนิต สวัสดิ์เสวี, นริศ ประทีนทอง และประธาน วงศ์ศรีเวช, 2554 “การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจากสับปะรด”, วิศวกรรมสาร มช., ปีที่ 38, 65-72.

[20] ธนาพล ตันติสตัยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีดิ์ปวีณ ภูหญ้า และภาณุวัฒน์ ไถ่บ้านกวย, 2558 “พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 23, 418-431.

[21] P. Jittabut, “Physical and thermal properties of briquette fuels from rice straw and sugarcane leaves by mixing molasses” *Energy Procedia*, 2–9 (2015).

[22] J. Li, M.C. Paul, P.L. Younger, I. Watson, M. Hossain and S. Welch, “Prediction of high-temperature rapid combustion behaviour of woody biomass particles” *Fuel*, 205–214, (2016).

[23] M. Thabuot, T. Pagketanang, K. Panyacharoen, P. Mongkut and P. Wongwicha, “Effect of applied pressure and binder proportion on the fuel properties of holey bio-briquettes” *Energy Procedia*, 890–895 (2015).

[24] J. Prasityousil and A. Muenjina, “Properties of solid fuel briquettes produced from rejected material of municipal waste composting” *Procedia Environmental Sciences*, 603-610 (2013).

[25] Z. Liu, A. Quek and R. Balasubramanian, “Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars” *Applied Energy*, 1315–1322 (2014).

[26] N. Kaliyan and R.V. More, “Factors affecting strength and durability of densified biomass products” *Biomass and Bioenergy*, 337–359 (2009).

[27] ASTM D7582-12, “Standard test methods for proximate analysis of coal and coke by macro thermogravimetric analysis” ASTM International, West Conshohocken, PA. (2012).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] ASTM D5865-13, “Standard test method for gross calorific value of coal and coke” ASTM International, West Conshohocken, PA. (2013).

[29] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, สราวุฒิ สังวรกาญจน์, ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์ และสุวิทย์ เตีย, 2553 “ผลกระทบของวิธีการจ่ายสารเติมแต่งในการเผาไหม้ทะเลลายปาล์มเปล่าในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไอน้ำร้อนยวดยิ่ง”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม, อุบลราชธานี.

[30] S. Mungmeesith, “The making of biomass stove for community” Research and Development Institute, Silpakorn University (2011) (In Thai).

[31] T. Mahayossanan, “Design and fabrication of coal briquette machine for household” Master of Science Thesis, Agricultural Engineering, Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University (2004).

[32] S. Chaiyadejyayakul, “Utilization of sludge cake from waste water treatment plant and fine wood-chip of pulp and paper mills for briquetted fuel” Master of Science Thesis, Department of Appropriate Technology for Resource Development, Mahidol University, p. 114. (2002) (In Thai).

[33] L. Chen, L. Xing and L. Han, “Renewable energy from agro-residues in China : solid biofuels and biomass briquette technology” Renewable and Sustainable Energy Review, 2689-2695 (2009).

[34] นคร วรสุวรรณรักษ์, 2558 “เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสำหรับภาคอุตสาหกรรม : ประเภทและคุณสมบัติของชีวมวล”, เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ, บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม.

[35] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาป็น, วิภาวดี ชัชวาล และอนันท์ ัญญเจริญ, 2559 “การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง”, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 39, 239-255.

[36] L. Wattanachira, “Studied of biomass briquette from longan residue” Research Report, Rajamangala University of Technology (2013) (In Thai).

[37] ละเอียด สินธุเสน, 2548 “การพัฒนาภาคอุตสาหกรรมเป็นวัสดุปรับปรุงดิน กรณีศึกษา : ชี้แจง”, สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 ค่าความร้อนในแห้งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะเลสาบปาล์มเปล่า

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Heating value (Cal/g)
30:70	150	30	3961.45	3962.7	-	3962.08
		40	3931.75	3758.84	3833.33	3841.31
		50	3785.97	3548.75	3904.61	3746.44
	250	30	3995.89	4023.53	-	4009.71
		40	3457.37	3556.7	-	3507.04
		50	3747.33	3562.28	-	3654.81
40:60	350	30	3876.94	3818.51	-	3847.73
		40	3931.11	3957.79	-	3944.45
		50	3230.15	3363.34	-	3296.75
	150	30	3741.22	3802.33	-	3771.78
		40	3829.59	3790.17	-	3809.88
		50	3657.22	3555.91	-	3606.57
50:50	250	30	3716.33	3733.98	-	3725.16
		40	3375.47	3238.31	-	3306.89
		50	3411.98	3454.74	-	3433.36
	350	30	3632.39	3859.58	3960.11	3817.36
		40	3645.3	3695.51	-	3670.41
		50	3262.81	3275.70	-	3269.26
50:50	150	30	3492.9	3345.08	3600.83	3479.60
		40	3547.96	3462.35	-	3505.16
		50	3233.76	3060.27	3601.02	3298.35
	250	30	3679.3	3654.61	-	3666.96
		40	3524.19	3600.16	-	3562.18
		50	2828.59	2944.29	2958.43	2910.44
350	30	3261.95	3305.06	-	3283.51	
	40	3060.67	3118.84	-	3089.76	
	50	2774.2	2875.71	3120.33	2923.41	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1 ค่าความร้อนในแห้งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะลายปาล์มเปล่า (ต่อ)

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Heating value (Cal/g)
60:40	150	30	3819.4	3795.18	-	3807.29
		40	3269.09	3256.93	-	3263.01
		50	3277.53	3153.05	-	3215.29
	250	30	3145.73	3150.91	-	3148.32
		40	3493.92	3404.12	-	3449.02
		50	3321.02	3332.64	-	3326.83
	350	30	3253.14	3220.15	-	3236.65
		40	3223.5	3380.7	3357.06	3320.42
		50	3060.97	3016.34	-	3038.66
70:30	150	30	3157.84	3165.61	-	3161.73
		40	2893.62	2867.72	-	2880.67
		50	3184.9	3185.18	-	3185.04
	250	30	3277.19	3241.67	-	3259.43
		40	2674.26	2607.94	-	2641.10
		50	2884.46	2880.25	-	2882.36
	350	30	2975.56	2930.46	-	2953.01
		40	2938.81	2958.43	-	2948.62
		50	3134.82	3104.66	-	3119.74

หมายเหตุ SBE = Spent bleaching earth, EP = Empty palm bunch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินพอกสีผสมทะเลลายปาล์มเปล่า

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Moisture content (% d.b.)
30:70	150	30	4.42	4.53	4.46	4.47
		40	5.03	5	5.04	5.02
		50	3.56	3.55	3.60	3.57
	250	30	4.8	4.85	4.83	4.83
		40	4.91	4.88	4.89	4.89
		50	3.66	3.64	3.63	3.64
	350	30	5.74	5.78	5.71	5.74
		40	5.96	5.96	5.88	5.93
		50	4.81	4.87	4.87	4.85
40:60	150	30	3.81	3.84	3.88	3.84
		40	3.56	3.53	3.56	3.55
		50	3.37	3.40	3.43	3.40
	250	30	4	4	3.97	3.99
		40	4.55	4.63	4.59	4.59
		50	3.69	3.71	3.79	3.73
	350	30	4.21	4.18	4.18	4.19
		40	4.83	4.8	4.82	4.82
		50	4.30	4.40	4.39	4.36
50:50	150	30	3.38	3.39	3.42	3.40
		40	3.61	3.58	3.59	3.59
		50	3.35	3.36	3.42	3.38
	250	30	3.73	3.78	3.74	3.75
		40	4.5	4.57	4.58	4.55
		50	3.28	3.24	3.25	3.26
	350	30	4.34	4.32	4.3	4.32
		40	5.11	5.33	5.11	5.19
		50	4.22	4.3	4.23	4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ปริมาณความชื้นในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะเลลายปาล์มเปล่า (ต่อ)

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Moisture content (% d.b.)
60:40	150	30	3.2	3.21	3.19	3.20
		40	2.95	2.99	2.96	2.97
		50	2.8	2.83	2.84	2.82
	250	30	3.69	3.64	3.68	3.67
		40	3.81	3.81	3.81	3.81
		50	2.9	2.86	2.88	2.88
	350	30	3.47	3.48	3.49	3.48
		40	3.44	3.47	3.5	3.47
		50	3.56	3.56	3.53	3.55
70:30	150	30	3.62	3.67	3.69	3.66
		40	3.01	3.05	3.01	3.02
		50	2.91	2.9	2.98	2.93
	250	30	3.32	3.31	3.29	3.31
		40	4	3.94	3.93	3.96
		50	3.28	3.34	3.35	3.32
	350	30	2.83	2.82	2.84	2.83
		40	3.17	3.16	3.18	3.17
		50	3.22	3.24	3.23	3.23

หมายเหตุ SBE = Spent bleaching earth, EP = Empty palm bunch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 ปริมาณสารระเหยในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินพอกสีผสมทะเลลายปาล์มเปล่า

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Volatile matter (%)
30:70	150	30	52.99	54.56	54.1	53.88
		40	55.98	55.68	55.26	55.64
		50	50.36	49.98	50.21	50.18
	250	30	55.72	57.08	56.78	56.53
		40	54.29	53.58	54.5	54.12
		50	54.37	53.72	53.41	53.83
	350	30	56.27	56.71	55.98	56.32
		40	53.11	53.45	52.11	52.89
		50	50.97	51.62	51.32	51.30
40:60	150	30	48.35	48.09	49.42	48.62
		40	52.36	51.32	51.56	51.75
		50	50.31	50.68	50.82	50.60
	250	30	55.2	54.6	53.96	54.59
		40	54.56	55.57	55.21	55.11
		50	51.03	51.32	52.8	51.72
	350	30	49.09	48.8	48.87	48.92
		40	45.25	44.55	45.56	45.12
		50	49.52	49.89	49.87	49.76
50:50	150	30	44.42	45.35	46.32	45.36
		40	52.12	50.99	50.8	51.30
		50	43.64	43.4	43.66	43.57
	250	30	49.05	49.92	48.93	49.30
		40	43.36	44.32	44.39	44.02
		50	47.29	45.82	45.58	46.23
	350	30	48.08	48.42	48.12	48.21
		40	41.31	41.39	41.19	41.40
		50	40.94	41.42	40.77	41.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3 ปริมาณสารระเหยในแห้งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะเลลายปาล์มเปล่า (ต่อ)

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Volatile matter (%)
60:40	150	30	39.01	38.76	38.81	38.86
		40	43.01	43.06	42.71	42.93
		50	39.88	40.01	39.95	39.95
	250	30	44.29	43.61	44.7	44.20
		40	42.93	43.57	43.6	43.37
		50	43.33	42.1	41.51	42.31
	350	30	42.93	42.59	43.01	42.84
		40	42.31	42.19	42.46	42.32
		50	39.47	40.19	39.64	39.77
70:30	150	30	37	37.76	37.58	37.45
		40	42.03	41.42	41.43	41.63
		50	38.7	38.04	39.74	38.83
	250	30	40.41	39.16	38.71	39.43
		40	37.68	37.44	37.54	37.55
		50	41.98	42.09	42.44	42.17
	350	30	38.92	39.09	39.13	39.05
		40	41.07	41.13	41.19	41.13
		50	39.45	39.29	39.21	39.32

หมายเหตุ SBE = Spent bleaching earth, EP = Empty palm bunch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินพอกสีผสมทะเลสาบปาล์มเปล่า

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Fixed carbon (%)
30:70	150	30	9.74	9.77	9.63	9.71
		40	11.23	10.92	10.93	11.03
		50	9.84	10.17	10.72	10.24
	250	30	11.35	11.44	10.61	11.13
		40	10.13	10.67	9.79	10.20
		50	11.02	10.77	10.68	10.82
	350	30	11.35	12.34	11.54	11.74
		40	10.5	10.75	10.44	10.56
		50	10.51	10.33	10.34	10.39
40:60	150	30	7.53	7.65	7.63	7.60
		40	9.72	9.03	8.91	9.22
		50	10.42	10.47	10.58	10.49
	250	30	10.43	11.02	11.36	10.94
		40	10.53	10.66	10.11	10.43
		50	9.72	9.67	10.15	9.85
	350	30	7.81	7.91	8.32	8.01
		40	6.9	7.14	6.96	7.00
		50	8.74	9.48	9.42	9.21
50:50	150	30	5.9	5.6	6.07	5.86
		40	8.69	8.83	8.58	8.70
		50	6.84	6.48	6.69	6.67
	250	30	7.77	8.12	7.95	7.95
		40	6.2	5.9	5.97	6.02
		50	8.14	7.67	7.41	7.74
	350	30	7.84	8.07	7.45	7.79
		40	4.89	5.01	5.05	4.98
		50	5.25	5.5	5.12	5.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินพอกสีผสมทะเลสาบปาล์มเปล่า (ต่อ)

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Fixed carbon (%)
60:40	150	30	3.32	3.48	3.42	3.41
		40	4.68	4.62	4.79	4.70
		50	5.44	5.12	5.29	5.28
	250	30	5.69	5.91	5.32	5.64
		40	5	4.28	4.44	4.57
		50	5	5.26	5.05	5.10
	350	30	5.13	5.4	5.54	5.36
		40	4.77	4.73	4.89	4.80
		50	5.32	4.42	4.94	4.89
70:30	150	30	2.11	1.92	2.22	2.08
		40	3.59	3.84	3.73	3.72
		50	3.7	3.83	2.95	3.49
	250	30	1.95	2.92	2.97	2.61
		40	3.08	2.91	2.8	2.93
		50	4.85	4.97	4.91	4.91
	350	30	2.93	2.88	3.02	2.94
		40	4.13	4.34	4.06	4.18
		50	3.51	3.58	3.22	3.44

หมายเหตุ SBE = Spent bleaching earth, EP = Empty palm bunch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก5 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะเลทรายปาล์มเปล่า

SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Ash content (%)
30:70	150	30	32.85	31.14	31.81	31.93
		40	27.76	28.4	28.77	28.31
		50	36.24	36.30	35.47	36.00
	250	30	28.13	26.63	27.78	27.51
		40	30.67	30.87	30.82	30.79
		50	30.95	31.87	32.28	31.70
	350	30	26.64	25.17	26.77	26.19
		40	30.43	29.84	31.57	30.61
		50	33.71	33.18	33.47	33.45
40:60	150	30	40.31	40.42	39.07	39.93
		40	34.36	36.12	35.97	35.48
		50	35.90	35.45	35.17	35.51
	250	30	30.37	30.38	30.71	30.49
		40	30.36	29.14	30.09	29.86
		50	35.56	35.30	33.26	34.71
	350	30	38.89	39.11	38.63	38.88
		40	43.02	43.51	42.66	43.06
		50	37.44	36.23	36.32	36.66
50:50	150	30	46.3	45.66	44.19	45.38
		40	35.58	36.6	37.03	36.40
		50	46.17	46.76	46.23	46.39
	250	30	39.45	38.18	39.38	39.00
		40	45.94	45.21	45.06	45.40
		50	41.29	43.27	43.76	42.77
	350	30	39.74	39.19	40.13	39.69
		40	48.66	48.27	48.35	48.43
		50	49.59	48.78	49.88	49.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก5 ปริมาณเถ้าในแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากดินฟอกสีผสมทะเลลายปาล์มเปล่า (ต่อ)

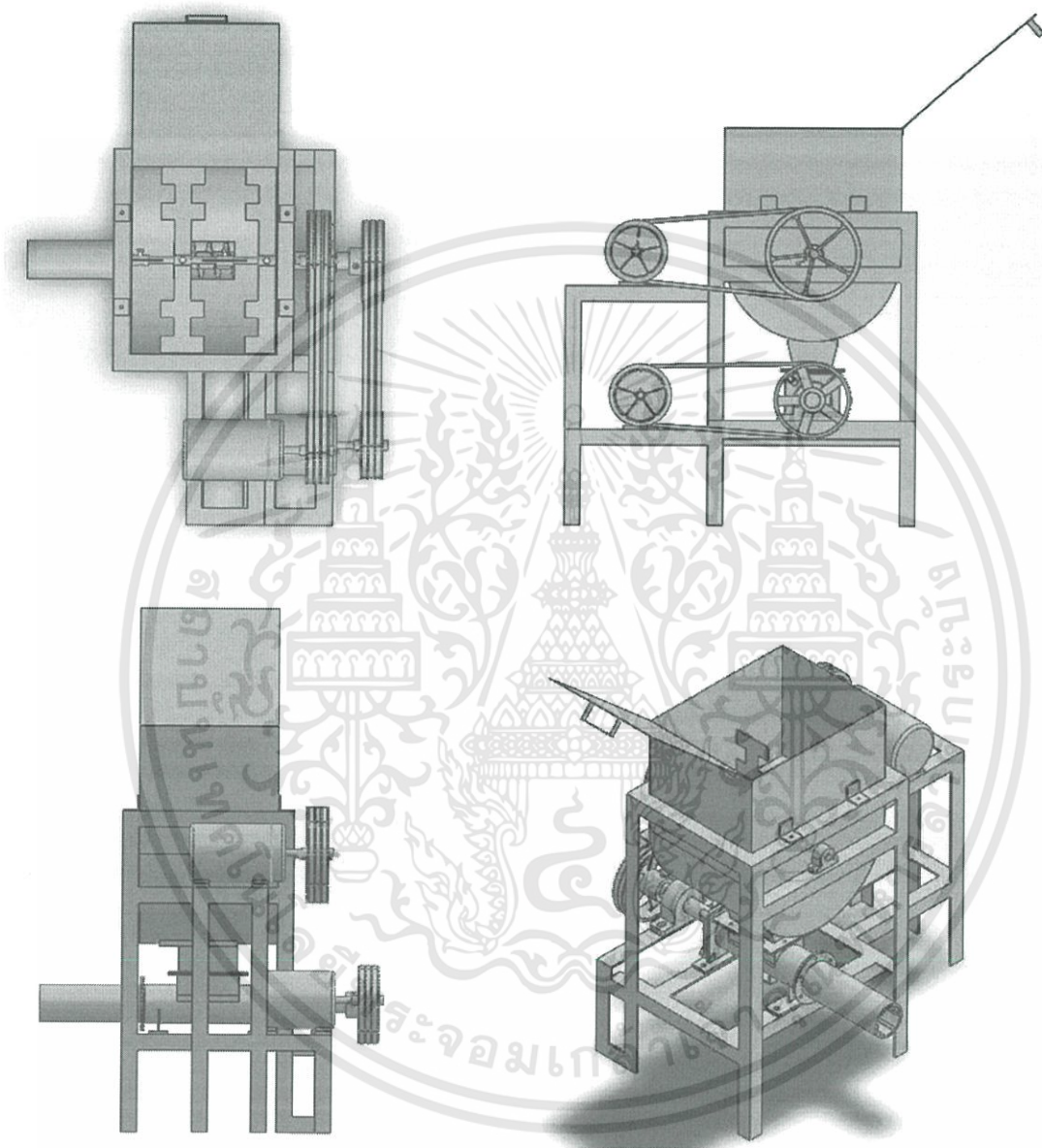
SBE:EP	Temperature (°C)	Revolution speed (rpm)	Repeat 1	Repeat 2	Repeat 3	Ash content (%)
	150	30	54.47	54.55	54.58	54.53
		40	49.36	49.33	49.54	49.41
		50	51.88	52.04	51.92	51.95
60:40	250	30	46.33	46.84	46.3	46.49
		40	48.26	48.34	48.15	48.25
		50	48.77	49.78	50.56	49.70
	350	30	48.47	48.53	47.96	48.32
		40	49.48	49.61	49.15	49.41
		50	51.65	51.83	51.89	51.79
150		30	57.27	56.65	56.51	56.81
		40	51.37	51.69	51.83	51.63
		50	54.69	55.23	54.33	54.75
70:30	250	30	54.32	54.61	55.03	54.65
		40	55.24	55.71	55.73	55.56
		50	49.89	49.6	49.3	49.60
350		30	55.32	55.21	55.01	55.18
		40	51.63	51.37	51.57	51.52
		50	53.82	53.89	54.34	54.02

หมายเหตุ SBE = Spent bleaching earth, EP = Empty palm bunch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



ภาพที่ ข1 เครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ค

## สรุปรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุปรายงานการใช้จ่ายเงิน ในระยะเวลาดำเนินการ...1...ปี ประจำปีงบประมาณ...2559...

หน่วยงาน.....วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์.....จังหวัดชุมพร.....

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)
  แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)...การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะลายปาล์มเปล่าร่วมกับดินฟอกสีเหลือทิ้ง.....

(ภาษาอังกฤษ)...Biomass fuel production made from empty palm bunch combined with residual bleaching earth.....

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ...ผศ.ดร.นฤบดี ศรีสังข์.....

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่...1 ตุลาคม 2558...ถึงวันที่...30 กันยายน 2559.....

ระยะเวลาดำเนินการ...1...ปี...-...เดือน ตั้งแต่วันที่...1 ตุลาคม 2558...ถึงวันที่...30 กันยายน 2559.....

## ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

## 1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าย่างงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 ..... 421,175 ..... บาท ..... 85 ..... % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) ..... 17/11/2558.....

งวดที่ 2 ..... 74,325 ..... บาท ..... 15 ..... % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) ..... 5/7/2559.....

## 2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (บาท)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว	-	-	-
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	295,000	295,000	0
ค่าวัสดุ	195,000	195,000	0
ค่าสาธารณูปโภค	5,500	5,500	0
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	495,500	495,500	0

นฤบดี ศรีสังข์

(นายณฤบดี ศรีสังข์)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

..... 6 ..... / ..... มี.ค. .... / 2560.....

นฤบดี ศรีสังข์

(นายณฤบดี ศรีสังข์)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย)      นายณฤบดี ศรีสังข์  
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)      Mr.Naruebodee Srisang
2. ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)  
- สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160      โทรศัพท์ 08-1911-9769      e-mail: oat\_2520@hotmail.com และ naruebodee.sr@kmitl.ac.th

### 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
ปร.ด. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2554	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.ม. (เทคโนโลยีพลังงาน)	2547	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	2543	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### 5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2550: ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง	ปัญญา แดงวิไล ลักษณะ, ดิษฐพร ตุง โสธานนท์, ณฤบดี ศรีสังข์, วชร กาลา สี และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 168 หน้า.
2551: การศึกษาการใช้ น้ำส้มควันไม้เคลือบแผ่นยางก่อนนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ แก๊สหุงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์	วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไล ลักษณะ, ณฤบดี ศรี สังข์, ดิษฐพร ตุง โสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ	1 ปี	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 145 หน้า.
2557: โครงการปรับปรุงและพัฒนาระบบวัดน้ำ	จำลอง ปราบแก้ว, ปัญญา แดงวิไล ลักษณะ, ศิริวรรณ พรรณราย, ณฤบดี ศรีสังข์, ศรีรัตน์	10 เดือน	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.

	ช่วยบุญ, วารุณี ลิ้ม มั่น และไชยรัตน์ เพชรคีรี			2557)
2557: การอบแห้งเมล็ด ธัญพืชด้วยเทคนิคหลอด ฮาโลเจนร่วมกับฟลูอิดไคซ์ เบด	นฤบดี ศรีสังข์ และปัญญา แดง วิไลลักษณ์	2 ปี (1 ต.ค. 2557- 30 ก.ย 2559)	หัวหน้า โครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัย จาก กองทุนวิจัย สจล.)
2557: เครื่องผลิตข้าวไร้ งอก	นฤบดี ศรีสังข์ , ศิริวรรณ พรรณ ราย และณัฐพงศ์ รัตนเดช	1 ปี (1 ต.ค. 2557- 30 ก.ย 2558)	หัวหน้า โครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการทำเล่มรายงาน วิจัยฉบับสมบูรณ์(สนับสนุน งบประมาณวิจัยจาก กองทุน วิจัย สจล.)
2557: เครื่องกะเทาะ เปลือกหมาก	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2557- 30 ก.ย 2558)	หัวหน้า โครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัย จาก กองทุนวิจัย สจล.)
2558: การผลิตเชื้อเพลิงชีว มวลจากทะลายปาล์มเปล่า ร่วมกับดินฟอกสีเหลือทิ้ง	นฤบดี ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2558- 30 ก.ย 2559)	หัวหน้า โครงการวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัย จากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559)

6. งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยีพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีการอบแห้ง

7. งานด้านวิชาการ: เรียบเรียงเอกสารประกอบการสอนรายวิชา 11126618 Energy and Environment

8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ระดับนานาชาติ

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonronarit, S. and Varanyanond, W., 2008, "Fluidized bed drying of germinated brown rice", Proceedings of the 4th International Conference on Innovations in Food Processing Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, December 2-4, Bangkok, Thailand.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonronarit, S. and Varanyanond, W., 2009, "Comparative study of germinated brown rice drying using hot air and superheated steam fluidized bed", Proceedings of the 6th Asia-Pacific Drying Conference (ADC2009), October 19-21, Bangkok, Thailand.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Sophonronarit, S. and Varanyanond, W., 2010, "Effects of drying media and temperatures on the drying kinetics and quality attributes of germinated brown rice", Proceedings of the 17th International Drying Symposium (IDS 2010), October 3-6, Magdeburg, Germany.

- Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W. and Sophonronarit, S., 2011, "Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique", Drying Technology, Vol. 29, pp. 55-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Srisang, N., Varanyanond, W., Soponronnarit, S. and Prachayawarakorn, S., 2011, “Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice”, **Journal of Food Engineering**, Vol. 107, pp. 385-392.
- Srisang, N., Katkleang, T., Noopuk, N. and Chadarak, S., 2014, “Wooden Chopsticks Dryer”, **Proceeding of the ๗<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering**, 2<sup>nd</sup> April – 4<sup>th</sup> April (2014), Pranakhornsriayothanya, Thailand.
- Srisang, N., Pannaray, S., Thalarum, J., Puaknut, T. and Rodthongkeaw, W., 2015, “Fuel Briquette made of Biomass Mixed with Residual Bleaching Earth from Palm Oil Plant”, **Proceeding of the 8<sup>th</sup> International Conference on Agricultural Engineering**, 17<sup>th</sup> March – 19<sup>th</sup> March (2015), Bangkok, Thailand.
- Srisang, N., Soponronnarit, S., Thuwapanichayanan, R. and Prachayawarakorn, S., 2015, “Modelling heat and mass transfer induced stresses in germinated brown rice kernels during fluidized bed drying”, **Drying Technology**, Accept author version posted online 17 July.
- Phetkeri, C., Srisang, N., Chungcharoen, T. and Srisang, S., 2015, “Germinated Bambara Groundnut Manufacturing by Hot Air Fluidized Bed Drying Technique”, **Proceeding of the 6<sup>th</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 16<sup>th</sup> December – 18<sup>th</sup> December (2015), The Regent Cha-Am Beach Resort, Petchburi, Thailand.

#### ระดับชาติ

- นฤบดี ศรีสังข์, เพชรรัตน์ คุณานพรัตน์, ศิริชัย เทพา, พิชัย นามประกาย และรัตนชัย ไพรินทร์, 2547, “A Development of Solar for Brooding Broiler Chicks”, “**Innovation of Agricultural Engineering for Increasing The Product**” The 5<sup>th</sup> Thainational Association of Agricultural Engineering Conference, April 26-30, Bangkok, Thailand.
- นฤบดี ศรีสังข์, ทรงธรรม ไชยพงษ์, ปราโมทย์ กุศล, วชร กาลาสี, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคผงซอล์กของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต”, **นเรศวรวิจัยครั้งที่ 2**, กรกฎาคม 26-28, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก
- วชร กาลาสี, นฤบดี ศรีสังข์, ภัทร สุพพัฑกุล และ พีระพงศ์ ทีฆสกุล, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 1 อนุภาคเขม่าควันและฝุ่นแป้ง”, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- นฤบดี ศรีสังข์, จรัสชัย เย็นพยับ, พีระพงศ์ ทีฆสกุล และ วชร กาลาสี, 2549, “ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคเขม่าควันของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต: ส่วนที่ 2 ผลกระทบของความต่างศักย์”, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20**, ตุลาคม 18-20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์, นฤบดี ศรีสังข์, วชร กาลาสี และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ, 2550, “ศักยภาพของพลังงานลมในจังหวัดชุมพรและเขตใกล้เคียง”, **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)**, 168 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วชร กาลาสี, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, นฤบดี ศรีสังข์, ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ และ ไชยรัตน์ เพชรศิริ, 2551, “การศึกษาการใช้น้ำส้มควันไม้เคลือบแผ่นยางก่อนนำไปอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ แก๊สหุงต้ม และพลังงานแสงอาทิตย์”, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ), 145 หน้า.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณธณฤทธิ และวารุณี วารุญญานนท์, 2553, “ผลกระทบของตัวกลางอบแห้งและอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 41(พิเศษ), เล่มที่ 3/1, หน้า 397-400.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณธณฤทธิ และวารุณี วารุญญานนท์, 2552, “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 285-288.
- นฤบดี ศรีสังข์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร, สมชาติ โสภณธณฤทธิ และวารุณี วารุญญานนท์, 2552, “การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อน”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 40 (พิเศษ), เล่มที่ 1, หน้า 449-452.
- นฤบดี ศรีสังข์, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, อิศร์ศักดิ์ ดาวทอง, มนัส บุญศรี และ อนุชา สาแสน, 2556, “การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยลมร้อนแบบฟลูอิดซ์เบดร่วมกับหลอดฮาโลเจน”, การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, น้ำฝน กัณทุบุตร, ภัสรา วงศ์จินดา และ สุธาธิณี สามคำนิล, 2556, “เครื่องผลิตข้าวเปลือกงอก”, การประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 11, สิงหาคม 22-23, โรงแรมโนโวเทล หัวหิน ชะอำ บีช รีสอร์ท แอนด์ สปา, เพชรบุรี
- นฤบดี ศรีสังข์, กิตติชัย ชูสิง, วศิน สมกาญจนา และ อภิสิทธิ ศรีไสยเพ็ชร, 2557, “เครื่องอบแห้งและกะเทาะหมาก”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 45 (พิเศษ), เล่มที่ 2, หน้า 489-492.
- นฤบดี ศรีสังข์, ไชยรัตน์ เพชรศิริ, อัครภาส สมหวัง, ศุภกฤต เลิศล้ำมงคล และ ณรงค์ชัย ชีวะธรรมรัตน์, 2558, “การอบแห้งถั่วเหลืองงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดแบบอากาศร้อน”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ฉบับที่ 46 (พิเศษ), เล่มที่ 3, หน้า 457-460.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

- ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางศิริวรรณ ศรีสังข์  
ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs.Siriwan Srisang
- ตำแหน่ง อาจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(e-mail)  
- สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร 86160 โทรศัพท์ 09-0163-7347 e-mail: siriwan\_srisang@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปี พ.ศ. ที่จบ	ชื่อสถานศึกษา
วศ.ม. (วิศวกรรมวัสดุ)	2555	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วศ.บ. (วิศวกรรมวัสดุ)	2552	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 5. ประวัติการวิจัย

ปี/ ชื่อเรื่องที่ทำวิจัย	ชื่อผู้ทำวิจัย	ระยะเวลา	สถานะ	ผลงานที่เผยแพร่
2556: การศึกษาการเตรียมวัสดุผสมยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยชีวภาพต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกล	ศิริวรรณ พรรณราย และพัชราภรณ์ ปานดี	1 ปี	หัวหน้าโครงการวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556)
2557: โครงการปรับปรุงและพัฒนากระทงดินน้ำ	จำลอง ปราบแก้ว, ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, ศิริวรรณ พรรณราย, นฤบดี ศรีสังข์, ศรีรัตน์ ช่วยบุญ, วารุณี ลิ้มมัน และไชยรัตน์ เพชรศรี	10 เดือน	ผู้ร่วมวิจัย	รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557)
2558: การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากทะเลสาบปาล์มเปล่าร่วมกับดินพอกสีเหลือทิ้ง	นฤบดี ศรีสังข์ และศิริวรรณ ศรีสังข์	1 ปี (1 ต.ค. 2558-30 ก.ย 2559)	ผู้ร่วมวิจัย	อยู่ระหว่างการดำเนินงานวิจัย (สนับสนุนงบประมาณวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2559)

6. งานวิจัยที่สนใจ: เทคโนโลยีวัสดุสำหรับพลังงานทดแทน และการประยุกต์ใช้วัสดุในกระบวนการผลิต

## 7. งานด้านวิชาการ: -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. งานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

### ระดับนานาชาติ

- Pannaray S., Wisutmethangoon S., Plookphol T. and Wannasin J., 2011, “Microstructure evolution during solution heat treatment of semisolid cast 2024 aluminum alloy”, **Advanced Materials Research**, Vol. 339:714-717 .
- Pannaray S., Praditkaew K., Sansatan K. and Suklim V., 2013, “A Briquetting Machine without Binder for Palm Oil Cluster”, **Agricultural Science Journal** 44: 3 (Suppl.) : 530-533.
- Pannaray S., Boonpia B., Duangsuwan K. and Thongsiri K., 2014, “Mechanic Behavior of Fibers Reinforcing in Natural Rubber STR 5L”, **International Conference on Agricultural Engineering**. 267-273
- Wisutmethangoon S., Pannaray S., Plookphol T. and Wannasin J., 2014, “Effect of Aging Condition on Semisolid Cast 2024 Aluminum Alloy”, **International Journal of Chemical, Material Science and Engineering**, Vol: 8 No: 4: 250-253.
- Phetkeri, C., Srisang, N., Chungcharoen, T. and Srisang S., 2015, “Germinated Bambara Groundnut Manufacturing by Hot Air Fluidized Bed Drying Technique”, **Proceeding of the 6<sup>th</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 16<sup>th</sup> December – 18<sup>th</sup> Demcember (2015), The Regent Cha-Am Beach Resort, Petchburi, Thailand.

### ระดับชาติ

-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้